

Joonas Mursu

**PAINEILMALINJAN LAAJENNUKSEN SUUNNITTELU VOIMA-
LAITOSALUEELLE**

PAINEILMALINJAN LAAJENNUKSEN SUUNNITTELU VOIMA- LAITOSALUEELLE

Joonas Mursu
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Joonas Mursu

Opinnäytetyön nimi: Paineilmalinjan laajennuksen suunnittelu voimalaitosalu-
eelle

Työn ohjaaja: Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 55

Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella voimalaitoksen paineilmalinjaan laajennus, jonka avulla paineilmaa voidaan tuottaa keskitetysti yhdessä paikassa. Suunnitelman tekeminen tukeutui vahvasti alueella tapahtuviin mittauksiin sekä paineilmaa käyttävän kunnossapitohenkilöstön tarpeisiin.

Olemassa olevat paineilmalinjat kartoitettiin niiden linjojen osalta, jotka vaikuttivat suunnitelman tekoon. Työssä tehtiin suunnitelma Cad-ohjelmalla sekä laajennuksen painehäviölaskuri Microsoft Excel -ohjelmalla.

Laajennuksen painehäviön tulisi olla alle 0,1 baaria, johon päästiinkin tehdyn painehäviölaskimen mukaan. Painehäviö laskettiin kahdella eri kaavalla. Lisäksi arvioitiin laajennuksesta aiheutuva paineilmamäärän lisäys ja sen avulla kompressoreiden kapasiteetin riittävyttä. Kompressoreiden kapasiteetti riittää laajennuksen tekoon.

Asiasanat: kompressor, paineilma, pneumatiikka, putkistot, suunnittelu

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO	6
2 NAPAPIIRIN ENERGIA JA VESI	7
2.1 Suosiolan voimalaitosalue	7
2.2 Kaukolämpötehon nostaminen ja muut laitokset	8
3 PAINEILMA	10
3.1 Ideaalikaasu	10
3.2 Paineilmajärjestelmä ja sen laitteet	11
3.2.1 Kompressorit	11
3.2.2 Jälkikäsitely	11
3.2.3 Paineilmaverkko	13
3.3 Paineilman laatuluokitus	14
4 SUOSIOLAN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ	17
5 LAAJENNUKSEN SUUNNITTELU	20
5.1 Kartoitus	20
5.2 Henkilöstön haastattelut	20
5.3 Runkolinjan alku ja silmukointi	21
5.4 Kuljettimet ja haaroitukset siilojen alle	24
5.5 Siilojen katolta kuljetintunneliin	27
5.6 Haarat runkolinjasta ja muut laajennukset	31
5.6.1 Uusi siilo vesikatolla	31
5.6.2 Pieni siilo	32
5.6.3 5NP	33
5.6.4 Rakeistamo	34
5.6.5 Sähkösuodatin	36
6 PAINEHÄVIÖN LASKENTA	39
6.1 Runkolaajennuksen painehäviöt	40
6.1.1 Näytteenottohalli	41
6.1.2 Polttoaineiden vastaanottoasema	42

6.1.3 Kuljetintunneli seulomoon	43
6.1.4 Seulomolta siilojen katolle	44
6.1.5 Siilojen katolta voimalaitoksen vesikatolle	45
6.1.6 Vesikatolta 1NP:lle ja 2NP:lle	45
6.2 Runkolinjan haarat ja muut laajennukset	47
6.2.1 Rakeistamo	48
6.2.2 5NP	48
6.2.3 Sähkösuodin	49
6.3 Kompressorien kuormitusaste	50
7 YHTEENVETO	53
LÄHTEET	54

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on suunnitella Suosiolan voimalaitosalueelle olemassa olevaan paineilmalinjaan laajennus, jonka avulla paineilman tuotto voitaisiin keskittää yhteen paikkaan. Nykyisellään paineilmaa tuotetaan paikallisesti voimalaitosalueen rakennuksissa. Opinnäytetyön tilaajana on Napapiirin Energia ja Vesi Oy.

Suunnittelu tukeutuu vahvasti alueella tapahtuviin mittauksiin ja havaintoihin putkivedoista sekä paineilmaa käyttävän henkilöstön tarpeisiin. Laajennuksen painehäviöt lasketaan erillisellä Excel-laskurilla, ja laajennus mallinnetaan Autocad 3D Plant -ohjelmalla. Lisäksi lasketaan laajennuksesta johtuva paineilmamäärän lisäys paineilmaverkossa ja sen avulla nykyisten kompressoreiden kapasiteetin riittävyys.

2 NAPAPIIRIN ENERGIA JA VESI

Napapiirin Energia ja Vesi Oy (lyhennettynä Neve Oy) on lappilainen energia- ja vesialan konserni. Neven tytäryhtiöihin kuuluvat sähkön siirtoliiketoimintaa harjoittava Rovaniemen Verkko Oy, polttoaineyhtiö Ranuan Bioenergia Oy, voimalaitosprojektiyhtiö Rovaniemen Voima Oy, kaukolämpöyhtiö Kolarin Lämpö Oy sekä vesiliiketoimintaa harjoittava Napapiirin Vesi Oy. Lisäksi osakkuusyhtiönä konserniin kuuluu lappilainen sähkön myyntiyhtiö Energiapolar Oy. (1.)

Konsernin liikevaihto on yli 80 miljoonaa euroa ja henkilöstöä on noin 220. Rovaniemen energialiiketoiminnalla on pitkät perinteet ja sähkönjakelutoiminta onkin aloitettu jo vuonna 1914 ja kaukolämpötoiminta 1970-luvulla. (1.)

2.1 Suosiolan voimalaitosalue

Suosiolan voimalaitosalue on suurin Neven energiantuotantoalueista. Se sijaitsee Rovaniemen Teollisuuskylässä osoitteessa Lampelankatu 39. (Kuva 1.)



KUVA 1. Suosiolan voimalaitosalue vuonna 2018

Suosiolan voimalaitosalueella on kolme eri energiantuotantoyksikköä, nimityksiltään 1NP, 2NP ja 5NP. Näistä kolmesta ensimmäinen, vuonna 1986 rakennettu 1NP oli 27 MW:n kuumavesikattila ja aloitti Suosiolan energiantuotannon. Sen polttoaineena käytettiin jysinturvetta ja myöhemmin myös puupohjaisia biopolttoaineita.

Alueen kaukolämmönkysyntä kasvoi 1990-luvulla, jolloin aloitettiin uuden voimalaitoshankkeen suunnittelu. Voimalaitostoimittajaksi valikoitui Amec Foster Wheeler Oy. Vuonna 1995 valmistunut vastapainevoimalaitos 2NP kasvatti alueen kaukolämpötehoa ja lisäsi myös sähköntuotannon voimalaitosalueelle. Valmistumishetkellä voimalaitoksen kaukolämpöteho oli 65 MW ja sähköteho 32 MW. Suosiolassa on lisäksi vara- ja huippulaitoksena toimiva vuonna 2006 valmistunut 47 MW:n öljykattila 5NP, jossa polttoaineena käytetään kevyttä polttoöljyä. Nykyään ensisijaisina polttoaineina Rovaniemellä ovat puupohjaiset biopolttoaineet, joiden käyttö kattaa noin puolet koko polttoainetarpeesta. Toissijaisina polttoaineina Napapiirin Energia ja Vesi Oy:n laitoksissa käytetään turvetta sekä pieniä määriä öljyä ja kivihiiltä. (3.)

Suosiolan lisäksi Neven lämpökeskuksia on eri puolilla Rovaniemeä. Tällaisia ovat Nivavaaran lämpölaitos, Ounasrinteen lämpölaitos, Mäntyvaaran biokaasulaitos sekä pienemmät vara- ja huippulaitoksina käytettävät öljy- ja pellettilaitokset. Näiden yhteenlaskettu kaukolämpöteho on noin 132 MW. Lämpölaitoksia on myös Ylläsjärvellä Levillä sekä Kolarissa, jossa tuotantoon kuuluu Kolarin Lämmön kaukolämpölaitos. (3.)

2.2 Kaukolämpötehon nostaminen ja muut laitokset

Vuonna 2013 vastapainevoimalaitoksen kaukolämpötehoa nostettiin 65 MW:sta 85 MW:iin ja vuonna 2014 tehoa saatiin nostettua uudella savukaasupesurilla 110 MW:iin. Vuonna 2017 korvattiin vanha 1NP:n 27 MW:n kuumavesikattila tehokkaammalla 40 MW:n kattilalla. Tällä hetkellä Suosiolan voimalaitosalueen sähköteho on 32 MW ja yhteenlaskettu kaukolämpöteho 197 MW. (2.)

Tulevaisuudessa kaukolämpötarpeen edelleen kasvaessa on suunniteltu uutta Mustikkamaan voimalaitosta, joka sijaitsisi nimensä mukaan Rovaniemen Mustikkamaalla noin 4 km päässä Suosiolasta. Alun perin Oulun Energia Oy:n kanssa yhteistyössä suunniteltu laitos piti valmistua koekäyttövaiheeseen vuonna 2014, mutta epäsuotuisten energiamarkkinoiden olosuhteiden takia projekti viivästyi ja Oulun Energia Oy möi osuutensa Mustikkamaan voimalaitoshankkeesta Rovaniemen Energia Oy:lle vuonna 2015. Hanke on tällä hetkellä jäissä. (4.)

3 PAINEILMA

Paineilma tarkoittaa ilmaa, joka on ylipaineistettu eli komprimoitu. Paineilmaan varastoitua energiaa käytetään muun muassa työkalujen ja -koneiden toimintaan. Paineilma on helppokäyttöinen väliaine, sillä sitä on aina saatavilla, se on melko vaaratonta, siistiä ja sitä voidaan varastoida. Lisäksi ilmalla on pieni dynaaminen viskositeetti, joka mahdollistaa pienen painehäviön suurillakin virtausnopeuksilla ja välimatkoilla. Haittapuolia voivat olla pieni paine (yleensä 6 - 10 bar), kokoonpuristuvuus ja kokonaisuutta ajatellen melko huono hyötysuhde. (5.)

Paineilma tuotetaan yleensä sähköllä. Motivan arvion mukaan Suomen teollisuuden paineilman tuottamiseen kuluu sähköä vuosittain 1,4 TWh, joten paineilman tuottamisen energiatehokkuuden parantamisessa on suuret säästöpotentiaalit. (6.)

3.1 Ideaalikaasu

Ideakaasu on kuviteltu mallikaasu, jonka avulla voidaan kuvata matemaattisesti kaasumaisen väliaineen toimintaa eri olosuhteissa. Ilma noudattaa melko tarkasti ideaalikaasun käyttäytymistä kuvaavia yhtälöitä normaalilämpötiloissa ja alle 20 - 30 baarin paineissa. Jos prosessissa ei siirry ainetta tai lämpötila ei muutu prosessin ja ympäristön välillä, pysyy väliaineen massa ja lämpötila vakiona. Ideaalikaasun isoterminen tilanyhtälö on esillä kaavassa 1. (7, s. 43.)

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

KAAVA 1

P_1 = absoluuttinen paine ennen kompressoria (Pa)

V_1 = kaasumaisen väliaineen tilavuus ennen kompressoria (m³)

P_2 = absoluuttinen paine kompressorin jälkeen (Pa)

V_2 = kaasumaisen väliaineen tilavuus kompressorin jälkeen (m³)

Ilman fysikaalisiksi normiarvoiksi on valittu seuraavat arvot. (7, s. 14.)

- paine, $p_o = 1,013$ bar

- lämpötila, $T_o = 293 \text{ K} = 20 \text{ °C}$
- tiheys, $\rho_o = 1,22 \text{ kg/m}^3$
- ominaiskaasuvakio, $R = 287 \text{ J/ (kg K)}$

3.2 Paineilmajärjestelmä ja sen laitteet

Teollisuuden kohteissa paineilma tuotetaan kompressorikeskuksessa, johon kuuluu kompressor, jälkijäähdytin, paineilmasäiliö, sekä suodattimia ja kuivaimia. Markkinoilla on myös vähäisempiä paineilmatarpeita varten siirreltäviä kompressoreita, esimerkiksi rakennustyömaa- ja autotallikäyttöön. (5.)

3.2.1 Kompressorit

Kompressor on laite, joka kasvattaa kaasumaisen väliaineen painetta pienentämällä sen tilavuutta. Kompressorit voidaan jakaa kahteen ryhmään puristustavan perusteella: kineettisesti puristaviin kompressoreihin ja staattisesti puristaviin kompressoreihin.

Kineettisesti puristavassa kompressorissa kaasumainen väliaine virtaa nopeasti pyörivään juoksupyörään, jossa se kiihdytetään suureen nopeuteen. Tämän jälkeen ilma ohjataan johtolaitteeseen, jossa väliaineen kineettinen energia muutetaan staattiseksi paineeksi hidastamalla sitä. Yksi käyttökohde kineettisesti puristavalle kompressorille on kaasuturbiineissa käytettävä aksiaalikompressor. (7, s. 43.)

Staattisessa puristuksessa puristettava kaasumainen väliaine virtaa kompressorin kammioon, jossa pienentämällä tilavuutta sen paine nousee ideaalikaasun tilanyhtälön mukaisesti. Mäntä- ja ruuvikompressorit ovat yleisimpiä staattisesti puristavia kompressoreja. (7, s. 43.)

3.2.2 Jälkikäsittely

Paineilma on kompressorin jälkeen kosteaa ja sisältää erilaisia epäpuhtauksia, kuten kiinteitä hiukkasia ja öljyä, jotka voivat aiheuttaa laitteiden toimintahäiriöitä

tai ja jopa rikkoa paineilmaa käyttäviä laitteita. Vesi ja epäpuhtaudet poistetaan paineilmosta erilaisin menetelmin.

Paineilman kuivaaminen

Ilmassa on luonnostaan kosteutta ja sen suhteellinen osuus lisääntyy, kun ilmaa puristetaan. Ilmassa oleva kosteus kulkee puristuksessa kompressorin läpi, ja korkean paineen takia se on höyrymäisessä muodossa. Kun painetaso laskee painehäviöiden ja paineilman käytön takia, osa vesihöyrystä tiivistyy vedeksi. Vesihöyryn kastepiste ilmaisee lämpötilan, jossa merkittävä osa vesihöyrystä alkaa kondensoitumaan vedeksi vallitsevassa paineessa. Kondensoitunut vesi onkin yksi paineilman suurimmista ongelmista. (7, s. 52–53.)

Jäähdytyskuivaimen toiminta perustuu lämmönvaihtimeen, joka jäähdyttää paineilmaa puristuksen jälkeen ja samalla erottaa siitä vettä. Tämän jälkeen paineilma lämmitetään takaisin normaaliin käyttölämpötilaan. Jäähdytyskuivaimella kastepiste saadaan laskettua muutamaa plusasteeseen. Jäähdytyskuivaus on edullinen ja vähän painehäviötä aiheuttava tapa laskea kastepistettä. Jäähdytinkuivain riittää sisätiloissa tapahtuvaan normaaliin pneumatiikkaan kuten korjaamoihin ja autotalleihin. (5, s. 44.)

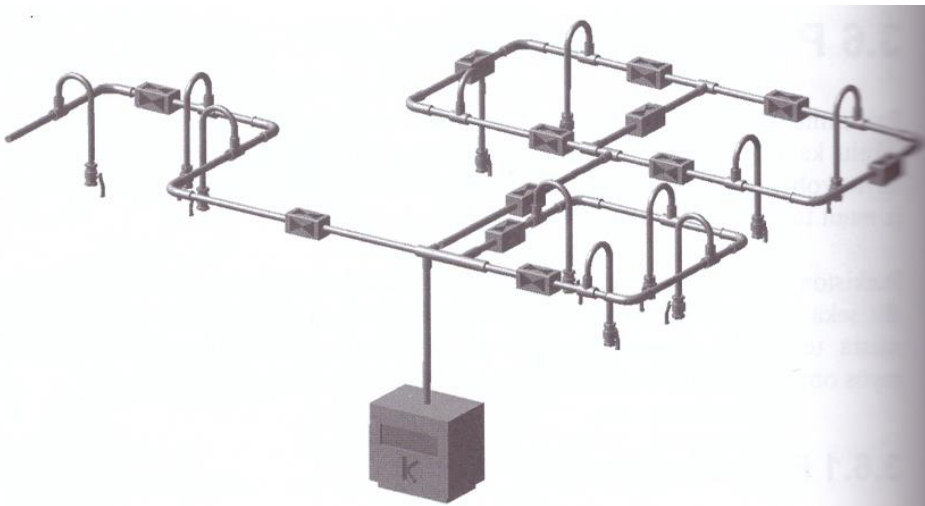
Absorptiokuivaimen toiminta perustuu kiinteän tai nestemäisen aineen kykyyn sitoa vesimolekyylejä pinnalleen. Absorptiokuivauksessa paineilma johdetaan kuivausainesäiliöiden läpi järjestelmään. Kuivaimessa on yleensä kaksi kuivausainetornia ja kuivausaineen kyllästyttyä osa virtauksesta johdetaan toiseen, rinnakkaiseen kuivausainesäiliöön ja kyllästynyttä kuivausainetta elvytetään lämpimällä ilmavirtauksella tai sähkövastuksilla. Näin toinen kuivain on aina elpymässä ja toinen kuivattaa paineilmaa. Kuivausaineena voidaan käyttää silicageeliä tai aktivoitua alumiinioksidia. Absorptiokuivaimen etuihin kuuluu todella alhainen kastepiste (jopa $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$) sekä vähäinen huollon tarve. (7, s. 55; 8, s. 37)

Paineilman suodatus

Ilma sisältää luonnostaan paljon likahiukkasia, kuten pölyä, hiilivetyjä, viruksia ja bakteereja, jotka ilman suodatusta voivat paineenalaisena tukkia tarkimpia instrumenttityökaluja. Ilman suodatusaste riippuu käyttökohteesta. Paineilmakompressorin imupuolella on ensimmäinen suodatin, joka estää suurimpien roskien imeytymisen paineilmalinjaan. Kompressorin jälkeen suodattimien erottelukykä nostetaan, kunnes vaadittu laatuluokitus täyttyy. Esimerkiksi hienosuodatin, jota käytetään yleissuodattimena teollisuuskäytössä, suodattaa 0,1–0,01 µm partikkelikoon hiukkaset. Kohteissa, joissa vaaditaan puhdasta, bakteeritonta ilmaa, käytetään steriilisuodattimia. (7, s. 57; 8, s. 38)

3.2.3 Paineilmaverkko

Kompressorin paineistama ilma johdetaan käyttöpaikoille paineilmaverkkoa pitkin. Paineilmaverkko voi olla rengasmainen, suora tai näiden sekoitus. (Kuva 2.)



KUVA 2. Paineilmaverkkojen rakennemuotoja (7. s. 60)

Suorassa verkkorakenteessa käytetään vain yhtä, etenevää runkoputkea. Tästä runkoputkesta haarautuvat jakeluputket sijoitetaan käyttökohteisiin. Rakenteeltaan suora verkko on yksinkertainen ja soveltuu kohteisiin, joissa ilmantarve on

verkon eri osissa saman suuruinen ja satunnainen. Putken halkaisijaa voidaan pienentää verkon edetessä. Ongelmana suorassa verkkorakenteessa on yksisuuntaisuus, kun verkko suljetaan jostakin vaiheesta runkoa, estyy koko loppu verkon toiminta. (7.)

Rengasmainen verkkorakenne on monimutkaisempi ja kalliimpi toteuttaa kuin suora verkkorakenne. Rengasmaisessa putkirakenteessa virtaus tapahtuu kahdesta eri suunnasta. Tämä tasaa verkon painehäviöitä sekä mahdollistaa verkon osien eristämistä mahdollisten ongelmien aikana. Rengasverkon putkihalkaisija voi olla pienempi kuin suorassa verkossa. (7.)

Käyttökohteisiin paineilma johdetaan jakeluputkia pitkin, jotka yleensä varustetaan joutsenkaulalla. Se estää runkoputkessa mahdollisesti olevan lauhdeveden valumisen käyttökohteeseen (7).

3.3 Paineilman laatuluokitus

Paineilman laatustandardi ISO 8573-1:2010 määrittelee paineenalaisen ilman hyväksyttävät jäännöspitoisuudet pölyn, veden ja öljyn suhteen. Paineilman laatustandardi ISO 8573-1:2010 on esiteltynä taulukossa 1. (9.)

TAULUKKO 1. Paineilman laatustandardi (9)

ISO 8573:1:2010 Paineilman laatustandardi							
Luokka	Kiinteät hiukkaset				Vesi		Öljy
	Hiukkasten maksimimäärä/m³			Massa- pitoisuus mg/m³	Paineen- alainen kastepiste	Neste g/m³	Kokonaisöljy mg/m³ *)
	0,1...0,5 µm	0,5...1 µm	1...5 µm				
0	Laitteiden käyttäjän tai toimittajan määrittelemä ja tiukempi kuin luokka 1.						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	≤ -20 °C	-	1
4	-	-	≤ 10.000	-	≤ +3 °C	-	5
5	-	-	≤ 100.000	-	≤+ 7 °C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-
7	-	-	-	5 ... 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-		-	0,5 ... 5	-
9	-	-	-		-	5 ... 10	-
x	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10
*) Öljysumu, öljyneste, öljyhöyry							

Eri laitteille ja käyttökohteille on annettu valmistajien ilmoittamia paineilman laatuluokan vähimmäisvaatimuksia. Laatuluokitus ilmoitetaan kolminumeroisena, esimerkiksi Suosiolan paineilma on laatuluokaltaan 2.2.2. Tässä tapauksessa paineilman laadun vakio-olosuhteissa tulee olla seuraavan määrittelyn mukainen:

Luokka 2 – Hiukkaset

Luokan 2 kuutiometrissä paineilmaa ei saa olla pienhiukkasia yli 400 000 kpl koluokassa 0,1–0,5 µm, ei yli 6000 kpl koluokassa 0,5–1 µm eikä yli 100 kpl koluokassa 1–5 µm.

Luokka 2 – Vesi

Luokan 2 kuutiometrissä paineilmaa kastepisteen tulee olla $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ tai alhaisempi. Ilmassa ei saa esiintyä nestemäistä vettä.

Luokka 2 – Öljy

Luokan 2 kuutiometrissä paineilmaa ei saa olla enempää kuin 0,1 mg öljyä. Öljyn määrään lasketaan nestemäinen öljy, öljyhöyry ja öljysumu.

4 SUOSIOLAN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ

Suosiolan päärakennuksessa paineilmaa tuotetaan turbiinisalin alakerrassa. Paineilmaa tuotetaan kolmella ruuvikompressorilla, joita ohjaa sähköinen Sarlin Balance -ohjausjärjestelmä.

Laitoksen paineilmantuotossa oli havaittu energiatehokkuuteen ja toimintavarmuuteen liittyviä ongelmia, ja vuoden 2015 keväällä paineilmajärjestelmän toimittava kumppaniyhtiö Sarlin Oy aloitti paineilmajärjestelmän kartoittamisen. Kartoittamisen jälkeen oli päätetty nostaa kompressorin- ja kuivauskapasiteettia sekä yhdistää ennen erillään olleet työkalu- ja instrumentti-ilmat. (10.)

Laitosalueen suurin, peruskuormaa hoitava kompressorin on Hertz Frecon 160P-ruuvikompressorin, jonka maksimituotto on 28,2 m³/min 7,5 baarin paineessa. Tuotto on ilmoitettu ISO 1217 -standardin mukaisesti. (Kuva 3.) (11.)



KUVA 3. Hertz Frecon 160P

Tukevina kompressoreina toimii kaksi Kaeser CSD 102 -ruuvikompressoria. Näiden yhteenlaskettu maksimituotto on 16,4 m³/min 10 baarin paineessa. Tuotto on ilmoitettu ISO 1217 -standardin mukaisesti. (Kuva 4.)



KUVA 4. Kaeser CSD 102

Kaikki kolme kompressoria on kytketty samaan 2 m³:n paineilmasäiliöön. Säiliöstä lähtevä paineilma kulkee öljy- ja partikkelisuodattimien läpi aina kuvassa 5 esillä olevaan absorptiokuivaimeen saakka, jossa paineilman kastepistettä saadaan alemmaksi, Suosiolan voimalaitoksen tapauksessa laatuluokituksen mukai-

seen -40°C :seen. Paineilmaverkon normaali verkkopaine on noin 7 baaria ylipainetta. Lisäksi Sarlin Oy:n toimittama Sarlin Balance -ohjausjärjestelmä on ohjelmoitu siten, että se nostaa verkon painetta hieman ennen suuria paineilmatarpeita. Suosiolan tapauksessa verkon painetta nostetaan ennen tuhkalähettimien toimintaa. (Kuva 5.)



KUVA 5. Domnick Hunter Pneudri-absorptiokuivain.

Muissa rakennuksissa paineilma tuotetaan paikallisilla kompressoreilla. Esimerkiksi vara- ja huippuvoimalaitoksena toimivassa öljykattilan rakennuksessa, kutsumanimeltään 5NP, paineilmaa tuottaa Chicago Pneumatic CPRC 4200 NS19S MT -mäntäkompressori. Paikallisten kompressoreiden ongelmana on paineilman ja painetason riittävyys, lisääntynyt huollon tarve sekä kalleus.

5 LAAJENNUKSEN SUUNNITTELU

Laajennuksen suunnittelu aloitettiin kartoittamalla nykyisen putkiston ominaisuuksia paikan päällä sekä asiakirjoihin perehtymällä. Laitoksen paineilman tuotossa oli havaittu energiatehokkuuteen ja toimintavarmuuteen liittyviä ongelmia, kuten matalaa painetasoa apurakennusten omissa paineilmaverkoissa. Suunnittelun lähtökohtana oli laajentaa voimalaitoksen paineilmaverkko muihin rakennuksiin, eritoten uuteen näytteneottohalliin, jossa paineilmaa käytetään uuden näytteneottorobotin toimintaan.

5.1 Kartoitus

Nykyisen putkiston kartoitus tehtiin paikan päällä havainnoimalla sekä arkistoista löytyneiden PI-kaavioiden avulla. Ennen Sarlin Oy:n tekemää kartoitusta voimalaitoksella oli kaksi erillistä paineilmaverkkoa, joista toisessa kulki työpaineilmaa, eli työkaluja voitelevaa öljyä sisältävää ilmaa. Toisessa linjassa kulki instrumentti-ilmaa, joka taas on öljytöntä ja jota käytetään pneumaattisissa toimilaitteissa. Nykyään nämä linjat on yhdistetty ja kaikki tuotettu paineilma on luokitukseltaan instrumentti-ilmaa. Mekaaniselle korjaamolle johtava linja on varustettu erillisellä öljystimellä.

Kartoituksen sekä PI-kaavioiden avulla selvitettiin olemassa olevan runkoputkiston suurimmaksi DN-kokoluokaksi DN50. Putkimateriaalina on käytetty pääasiassa ruostumatonta terästä. Laajennus suunnitellaan lähtökohtaisesti siten, että jokainen runkolinjasta lähtevä linja voidaan tarvittaessa eristää muusta putkistosta venttiilillä.

5.2 Henkilöstön haastattelut

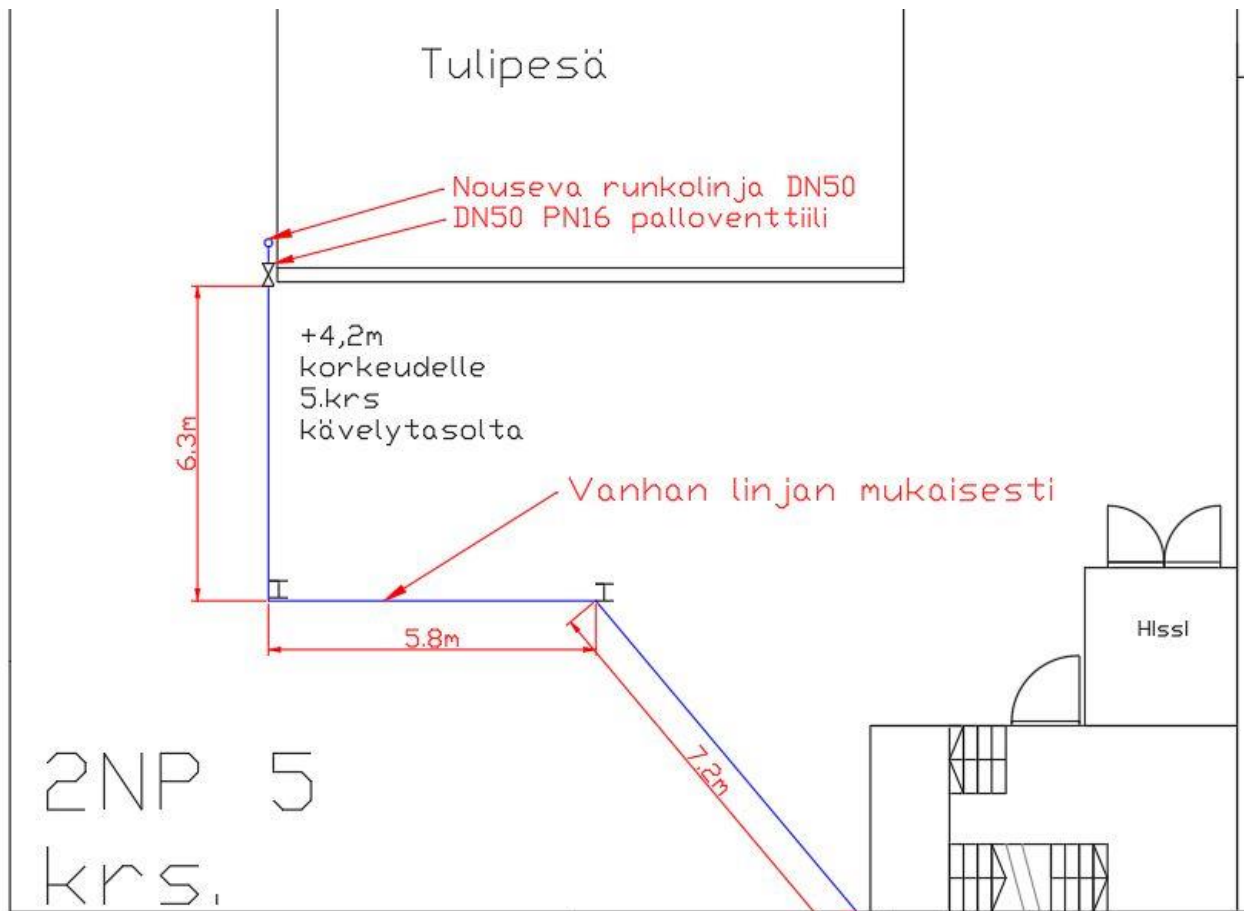
Paineilmaa käyttävän henkilöstön haastatteluiden ja laitoskierrosten avulla saatiin selville, mihin kaikkialle tulisi paineilmaa saada sekä kuinka paljon. Haastatteluissa arvioitiin paineilman tarvetta eri kohteisiin sekä putkiston reititystä, jotta

putkisto ei häiritse voimalaitosalueen normaalia toimintaa. Lisäksi otettiin huomioon kunnossapitohenkilöstön toiveita esimerkiksi liitäntäpisteistä sekä otettiin huomioon myös mahdolliset myöhemmät laajennukset paineilmaverkkoon. Haastatteluiden tuloksena syntyi selkeä kuva laajennuksen tarpeesta.

5.3 Runkolinjan alku ja silmukointi

Kartoituksen sekä paineilmaa käyttävän henkilöstön haastattelun jälkeen ryhdyttiin selvittämään, mistä laajennus olisi järkevin aloittaa. Lopulta vaihtoehdoiksi karsiutui haaroitus voimalaitoksen runkolinjasta joko 5. tai 7. kerroksesta. Lopulta päädyttiin aloittamaan laajennus 5. kerroksesta yksinkertaisemman rakenteen takia.

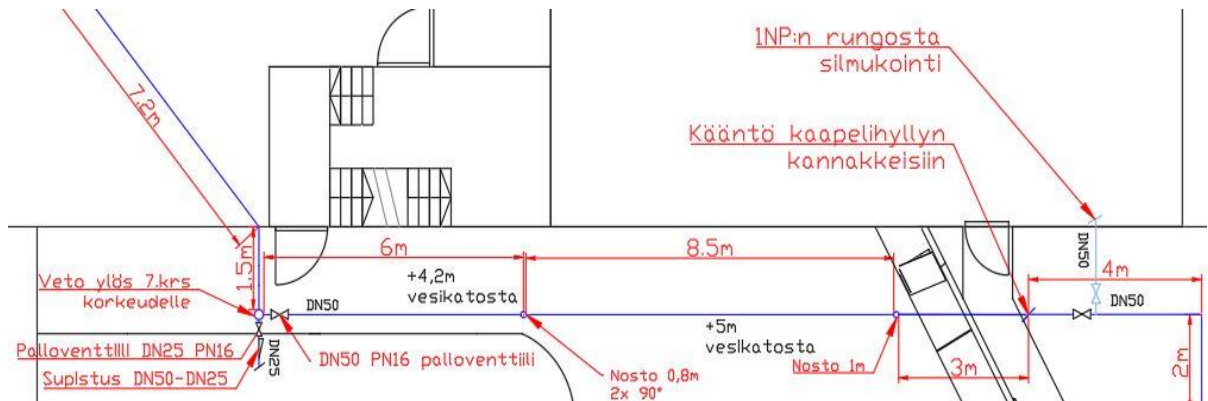
Voimalaitosrakennuksen olemassa oleva runkolinja on kooltaan DN50, ja uusi laajennus aloitetaan samalla putkikoolalla. Haaroitus tapahtuu T-haaralla runkolinjasta 5. kerroksen huoltotason yläpuolelta ja heti haaran perään lisätään DN50 PN16 -palloventtiili. Näin voidaan tarvittaessa sulkea paineilman kulku laajennukseen. Runko vedetään olemassa olevan vanhan DN20-linjan mukaisesti voimalaitoksen runkopalkkeihin tukeutuen. (Kuva 6.)



KUVA 6. Runkolinjan alku

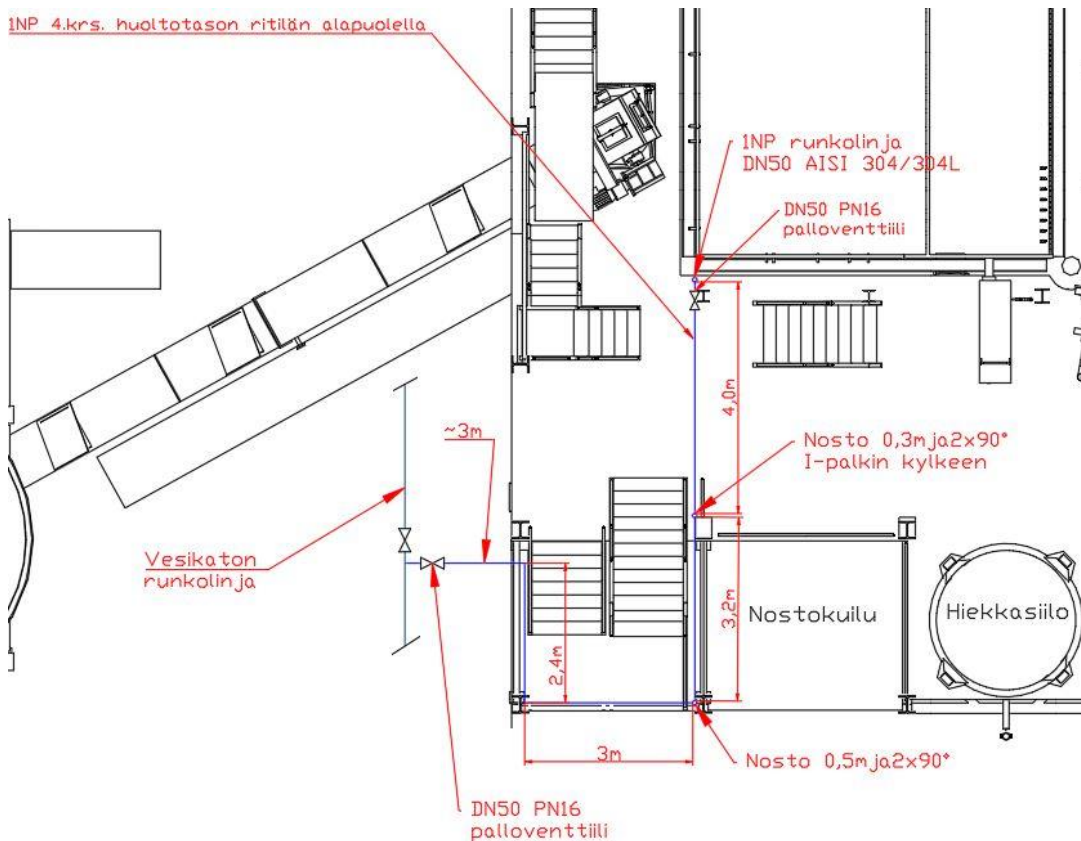
Palloventtiilistä laajennus jatkuu ulos vesikatolle, jossa tapahtuu ensimmäinen haaroitus. Haaroituksessa vedetään linja päiväsiilojen alle sekä ylös 7. kerroksen korkeudelle.

Haaroituksesta runko jatkaa vesikatolla kulkuaan kohti polttoainesiiloja. Vesikatolla uusi runkolinja silmukoidaan 1NP:ltä tulevan runkolinjan kanssa. Näin saadaan tasattua vanhojen linjojen kuormitusta paineilman toimittamisessa sekä tarvittaessa eristettyä 2NP:n ja 1NP:n paineilma- verkot toisistaan. (Kuva 7.)



KUVA 7. Runkolinja vesikatolla

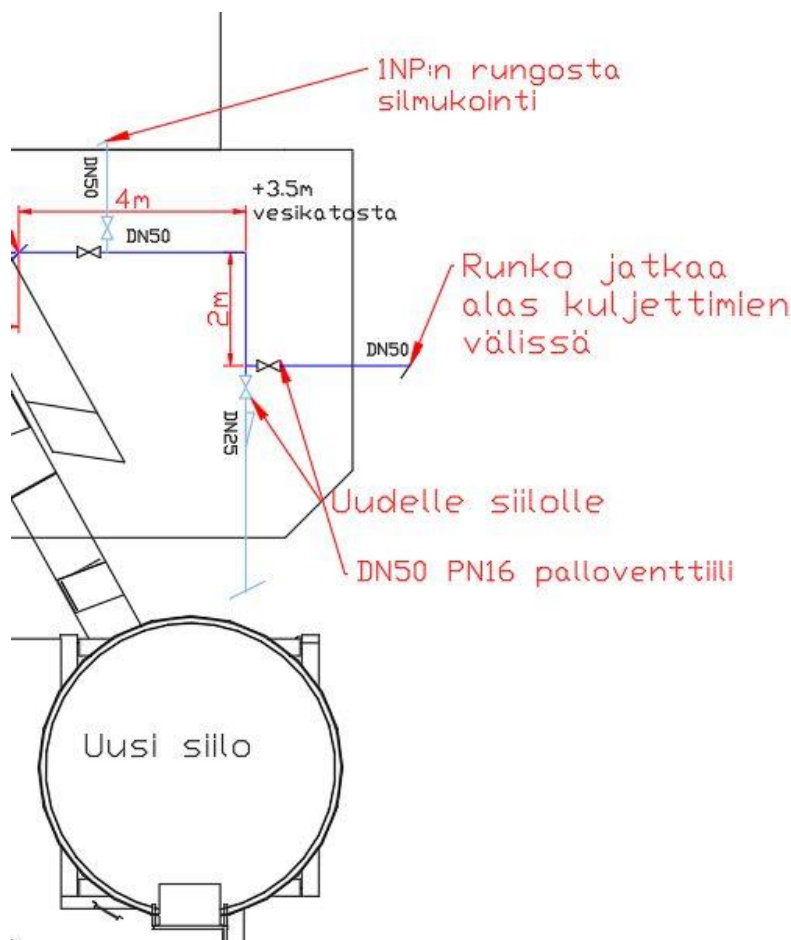
Paineilmalinja silmukoidaan 1NP:n paineilmaverkosta kuvan 8 mukaisesti. Runkolinja on myös tässä tapauksessa kooltaan DN50, ja putkimateriaalina käytetään ruostumatonta terästä. Haaran molemmin puolin lisätään DN50 PN16 -palloventtiilit. (Kuva 8.)



KUVA 8. Runkolinjan silmukointi 1NP:n linjan avulla

5.4 Kuljettimet ja haaroitukset siilojen alle

1NP:n silmukoinnin jälkeen runko vedetään kahden nousevan polttoainekuljettimen väliin ja tuetaan kuljettimen runkoon. Rungosta haaroitetaan varaus uudelle 1NP:n siilolle ja jatkavaan runkoon lisätään DN50 PN16 -palloventtiili. Uuden siilon haaroituksen suunnittelukuvat esitetään luvussa 5.6.1. (Kuva 9.)



KUVA 9. Runko kuljettimien väliin sekä varaus uudelle siilolle.

Vesikatolta runko vedetään polttoainekuljettimien välissä alas kohtaan, jossa siiloilta tulevat kaksi polttoainekuljetinta yhtyvät. Tässä kohtaa runkolinjasta haaroitetaan Pienen siilon paineilmalinja T-haaralla ja palloventtiilillä. Haaroituksen putkikokona käytetään DN25:sta. Runkolinja jatkaa etenemistään putkikokona DN50 Ison siilon suuntaan. Jatkavaan linjaan lisätään DN50 PN16 -palloventtiili. Lisäksi

Kuljettimien välissä

~5,5m

DN50-DN25 T-haara

DN50-DN25 T-haaralla nosto +0,5m putkea +DN25 PN16 palloventtiili

~1m

~1m

~2,5m

DN50-DN25 supistus

DN25

DN25

DN50

Runko jatkaa ison siilon suuntaan

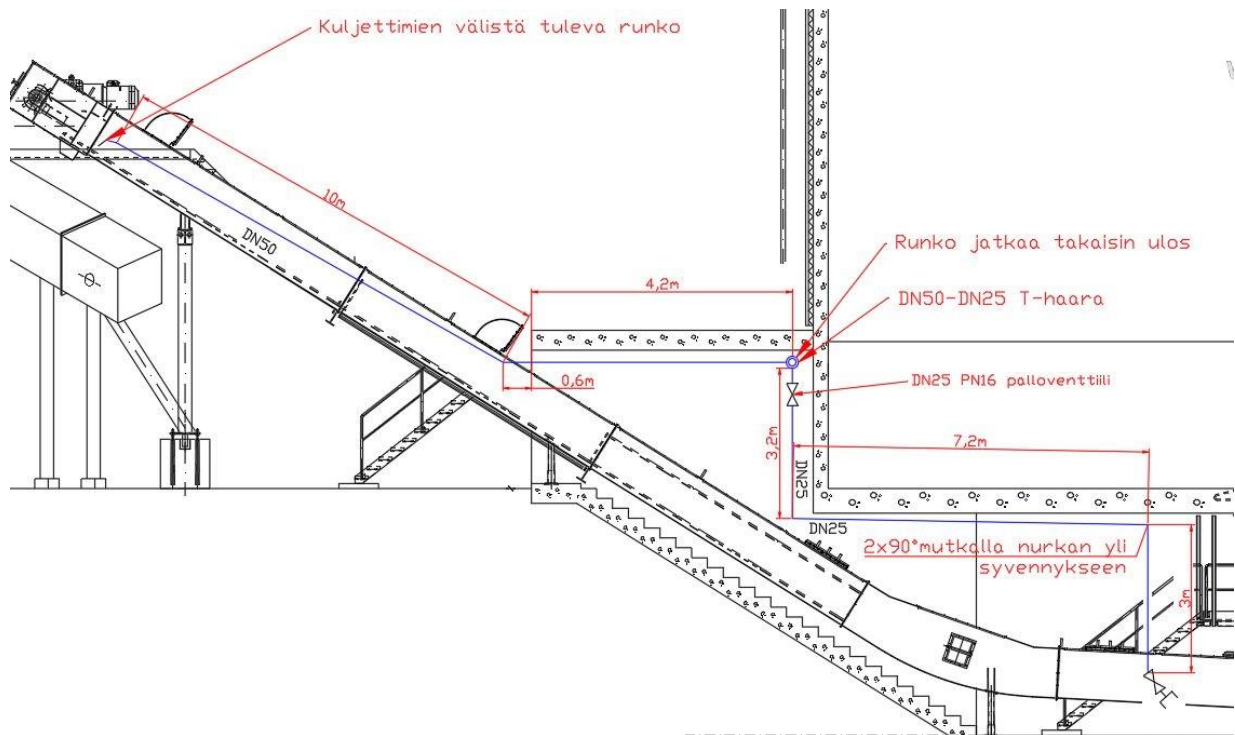
DN25 PN16 palloventtiili

2m kuljettimen ali 2x 90 mutkalla

3,2m

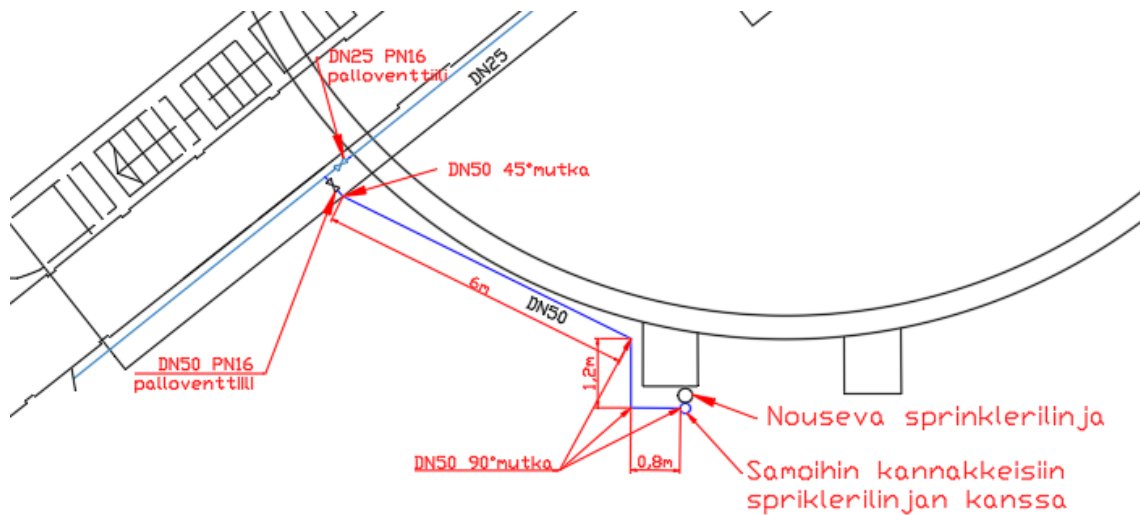
Pienelle siilolle sprinterilinjaa päällä

Isolle siilolle jatkava runko tuetaan polttoainekuljettimen kylkeen. Runko nousee kylkiprofiilia pitkin ylöspäin ja se vedetään siilon seinän läpi, jossa runkolinjasta haaroitetaan siilon alle menevä DN25-linja. Ison siilon alla haaralinja vedetään katon myötäisesti siilon pohjaruuvikoneiston kohdalle seinässä olevaan syvennykseen. Syvennyksessä haara vedetään alas noin metrin korkeudelle lattiasta ja varustetaan työkaluliitännällä. Runko jatkaa siilon alle menevästä haaroituksesta takaisin ulos putkikokona DN50. (Kuva 11.)



KUVA 11. Iso siilo sivusta

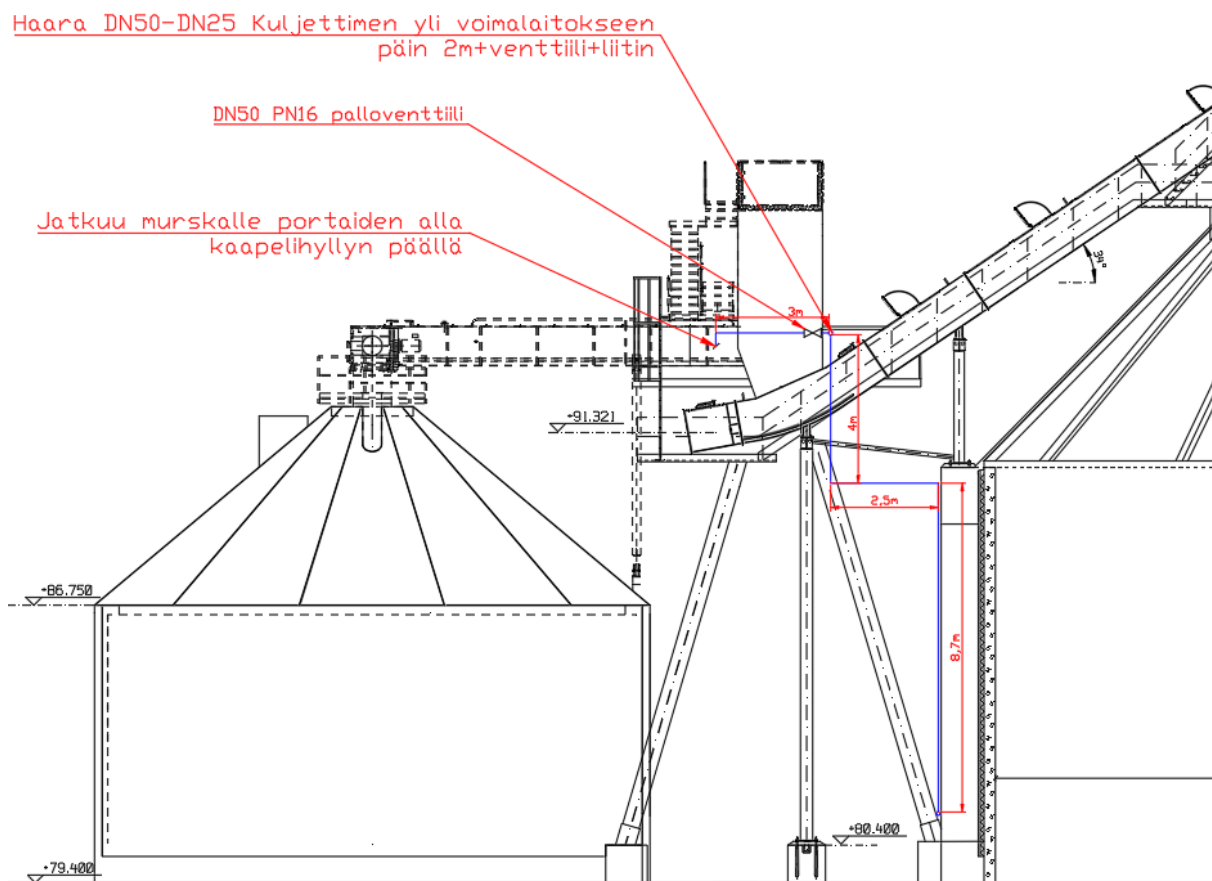
Ison siilon ulkona runko vedetään ylös siilojen katolle olemassa olevan sprinkle-
riinjan kannakkeisiin tukeutuen. Runko jatkaa edelleen putkikokona DN50. (Kuva
12.)



KUVA 12. Iso siilo ylhäältä

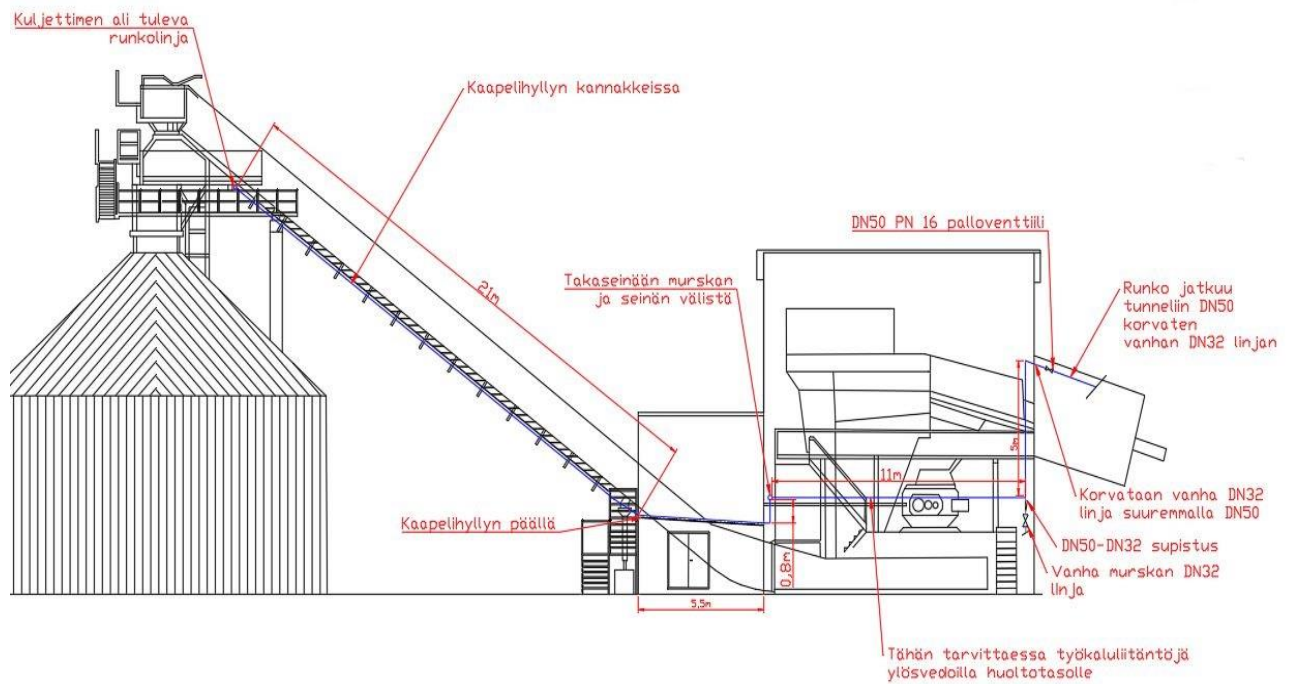
5.5 Siilojen katolta kuljetintunneliin

Siilojen katolla runko jatkaa suuntaansa kohti murskaamoa. Lisäksi katolle haaroitetaan putkikoon DN25 paineilmalitöntä paineilmakäyttöisten pumppujen ja työkalujen käyttöä varten. Haara vedetään kuljettimen yli kohti päärakennusta. Runkoon lisätään DN50 PN16 -palloventtiili haaran jälkeen. (Kuva 13.)



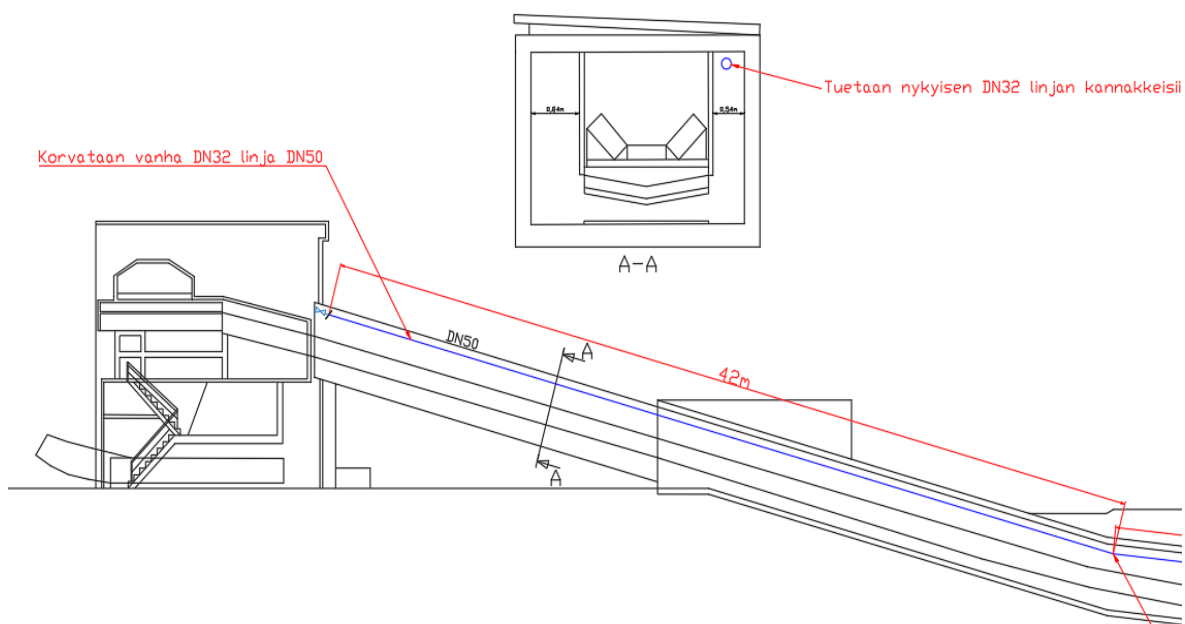
KUVA 13. Siilojen katto

Runko laskeutuu takaisin alas murskalta tulevan polttoainekuljettimen mukaisesti portaiden alla olevan kaapelihihlyn päällä. Alhaalla runko vedetään vanhan näytteenottohuoneen läpi murskaamolle, jossa uusi laajennuksen runkolinja liitetään murskaamon omaan paineilmaverkkoon. (Kuva 14.)



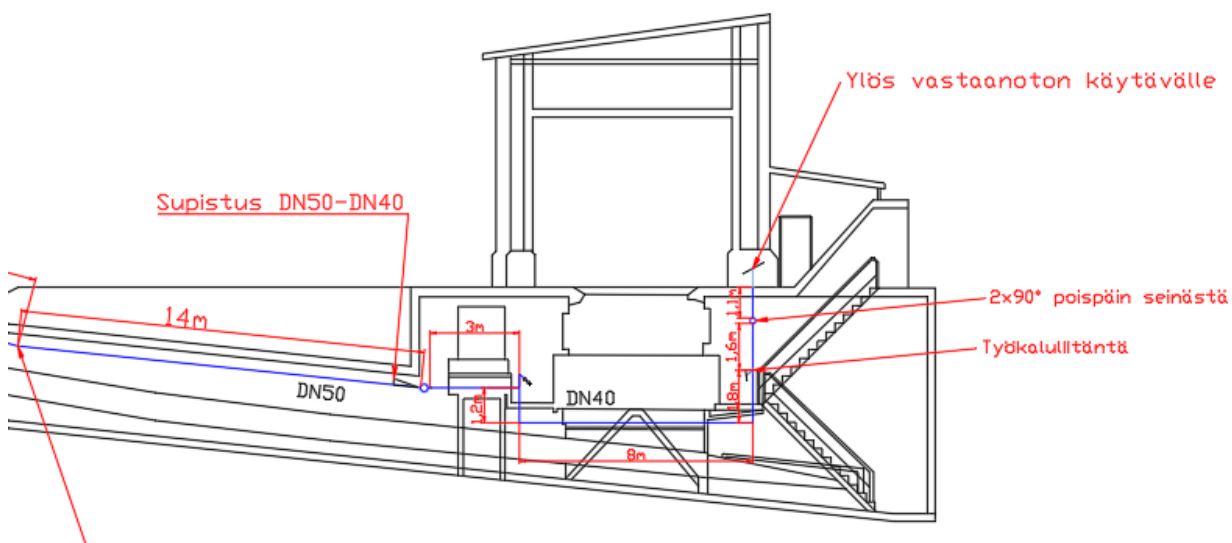
KUVA 14. Runkolinja siilojen katolta tunneliin

Murskaamolta runko jatkaa etenemistään kuljetintunneliin, jossa vanha DN32-linja korvataan suuremmalla DN50-linjalla. Tällä putkikoon suurentamisella mahdollistetaan pienempi painehäviö laajennuksessa sekä mahdollistetaan tulevat lisälaajennukset paineilmaverkkoon. Runko tuetaan vanhan linjan kannakkeisiin tunnelikuilun vasemmalle puolelle murskalta päin katsottuna. (Kuva 15.)



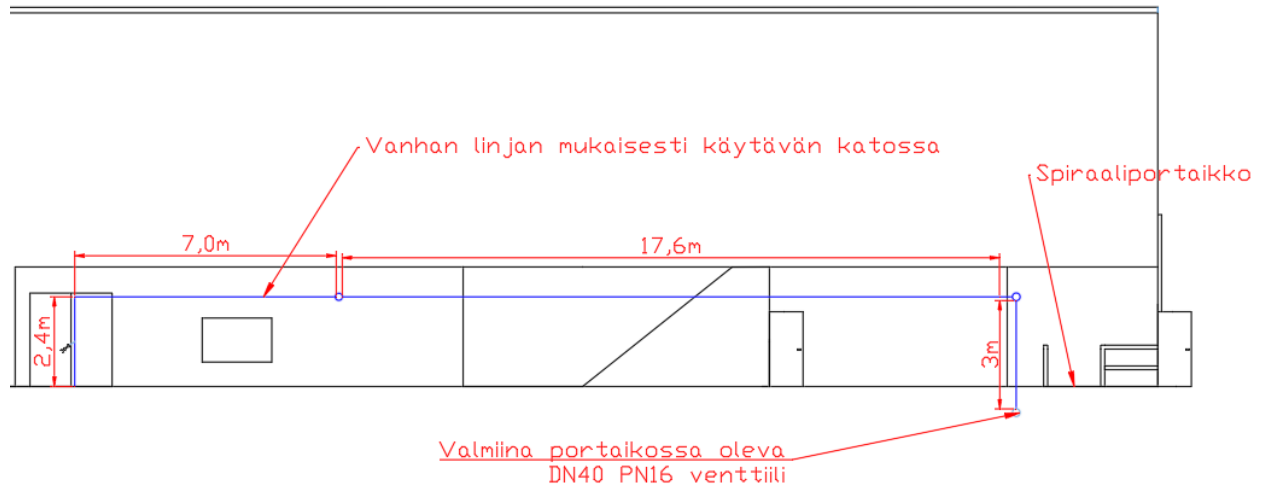
Kuva 15. Kuljetintunneli

Kuljetintunnelin alaosassa rungon koko pienennetään putkikokoon DN40. Laajennuksen loppuosalla ei ole suurta merkitystä painehäviön määrään, joten on perusteltua pienentää putkikokoa säästösyistä. Runko vedetään ylös vastaanoton käytävälle vanhan linjan mukaisesti. (Kuva 16.)



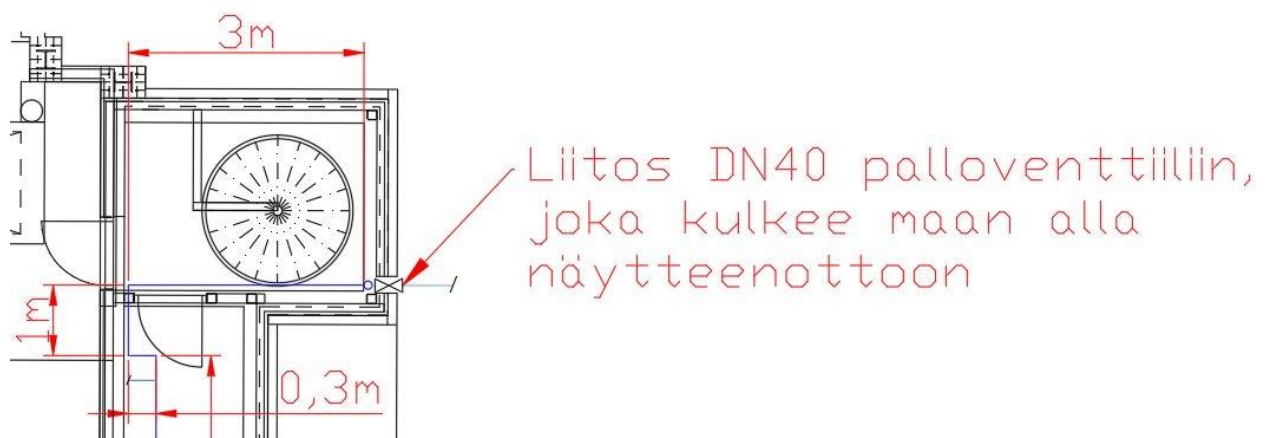
KUVA 16. Vastaanoton alin kerros

Vastaanoton käytävällä vanha DN32-linja korvataan suuremmalla DN40-linjalla ja vanhan linjan liitännätpisteet pysyvät samoissa paikoissa kuin aiemmin. DN40-runkoputki vedetään ylös katonrajaan, jossa se etenee käytävän mukaisesti. (Kuva 17.)



KUVA 17. Vastaanottoaseman käytävä

Vastaanottoaseman käytävän päässä runko vedetään seinän läpi spiraaliportaikkoon, jonka seinässä on valmis DN40 PN16 -palloventtiili. Tämän venttiilin takana on valmiiksi maan alle kaivettu DN40-runkolinja, joka yhdistää uuden näyttteenottoaseman paineilmaverkkoon. (Kuva 18.)



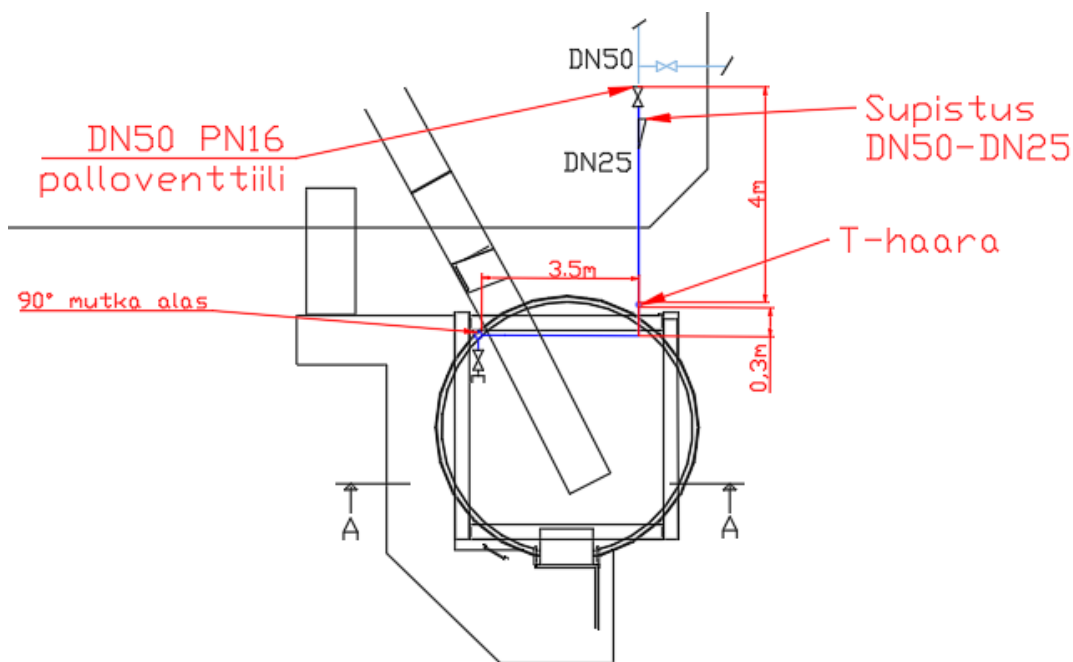
KUVA 18. Liitäntä maanalaiseen DN40-linjaan

5.6 Haarat runkolinjasta ja muut laajennukset

Paineilmalinjan päälaajennuksen lisäksi suunniteltiin muita haaroituksia ja laajennuksia paineilmaverkkoon. Muita laajennuksia ovat paineilmalinjan veto voimalaitosalueen takaosassa sijaitsevalle rakeistamolle, savukaasupesurin ulkoseinälle sekä öljykattila 5NP:lle.

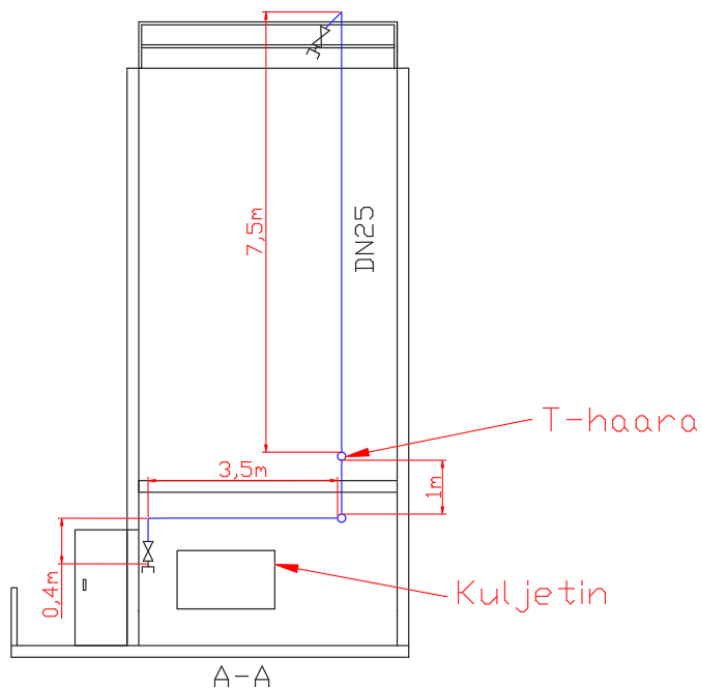
5.6.1 Uusi siilo vesikatolla

Voimalaitosrakennuksen vesikatolle rakennettuun polttoainesiiloon suunnitellaan laajennus, joka mahdollistaisi paineilmakäyttöisten työkalujen käytön siilon huoltotöissä. (Kuva 19.)



KUVA 19. Uusi siilo vesikatolla ylhäältä.

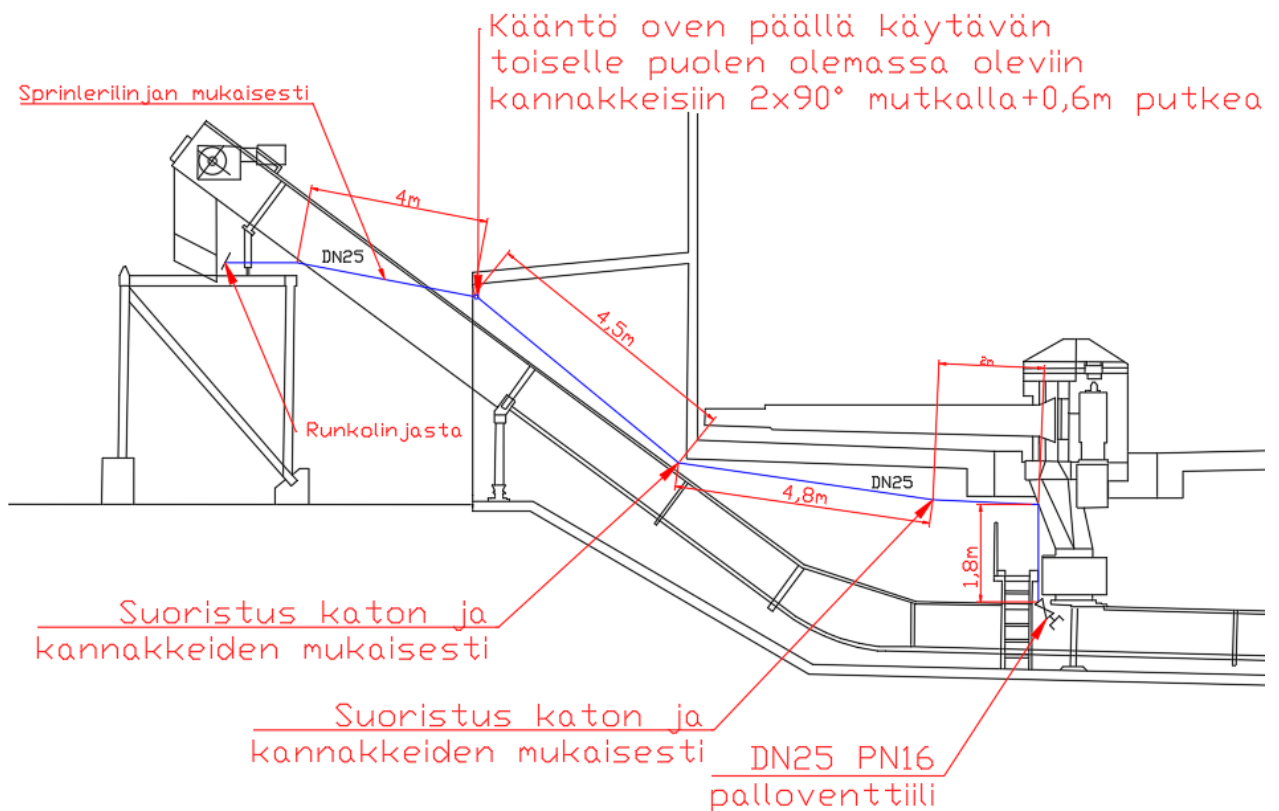
Lisäksi suunnitelmaan jätettiin varaus, mikäli paineilma halutaan vetää myös siilon päälle ulos. (Kuva 20.)



KUVA 20. Uusi siilo vesikatolla sivusta

5.6.2 Pieni siilo

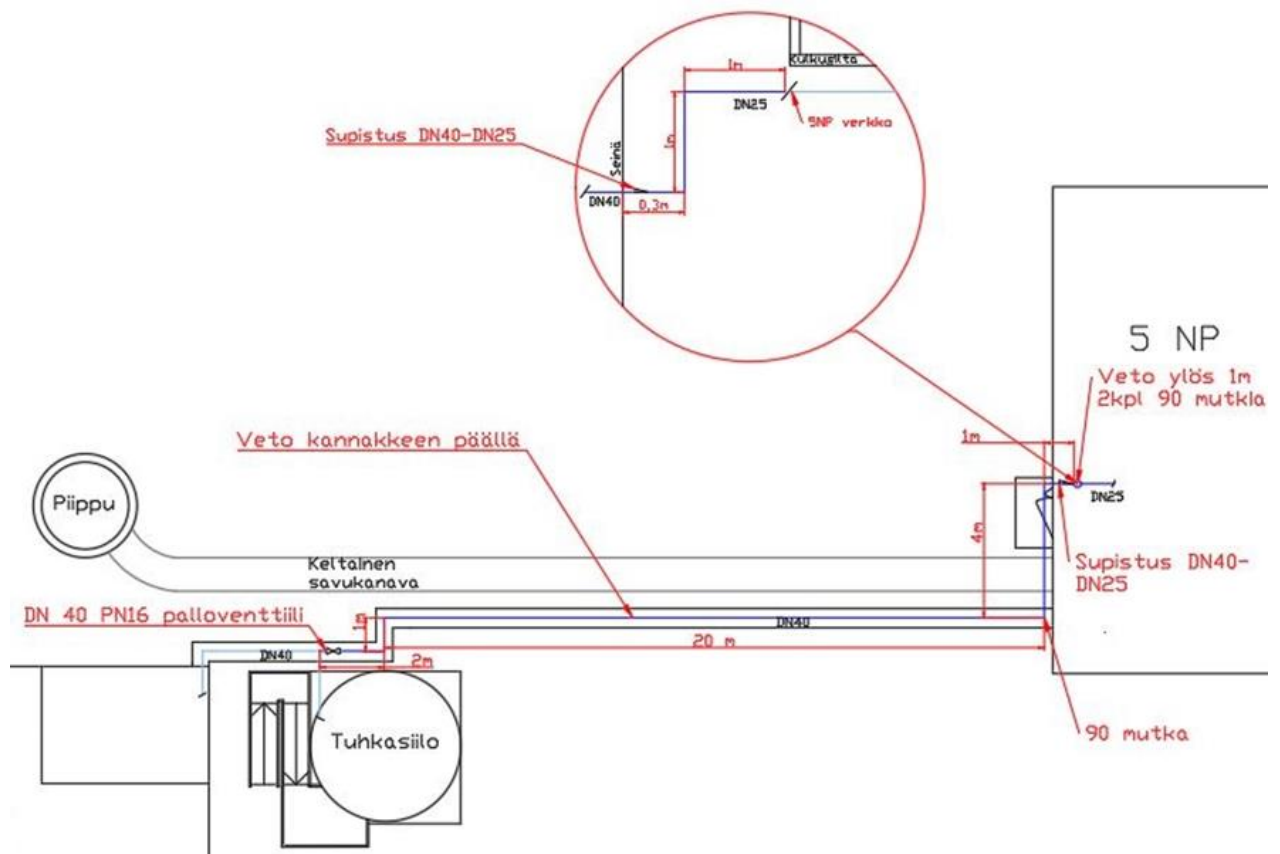
Myös pienemmän siilon alle vedetään paineilmalinja. Paineilmalinjan putkikooksi valitaan DN25, joka riittää reilusti siilon alla tapahtuviin huoltotoimenpiteisiin. Haaroitus vedetään siilon alle runkolinjasta kuljettimen ali vanhaa sprinklerilinjaa pitkin ja siilon huoltokäytävällä oleviin kannakkeisiin tukeutuen. Linjan pää vedetään pohjaruuvikoneiston kohdalla alas noin metrin korkeudelle ja varustetaan työkaluliitännöillä. Tämän haaran pää on laajennuksen matalin kohta, joten on perusteltua lisätä vedenpoistovenktiili työkaluliitännän lisäksi, vaikka nestemäistä vettä ei pitäisikään esiintyä. (Kuva 21.)



KUVA 21. Pieni siilo

5.6.3 5NP

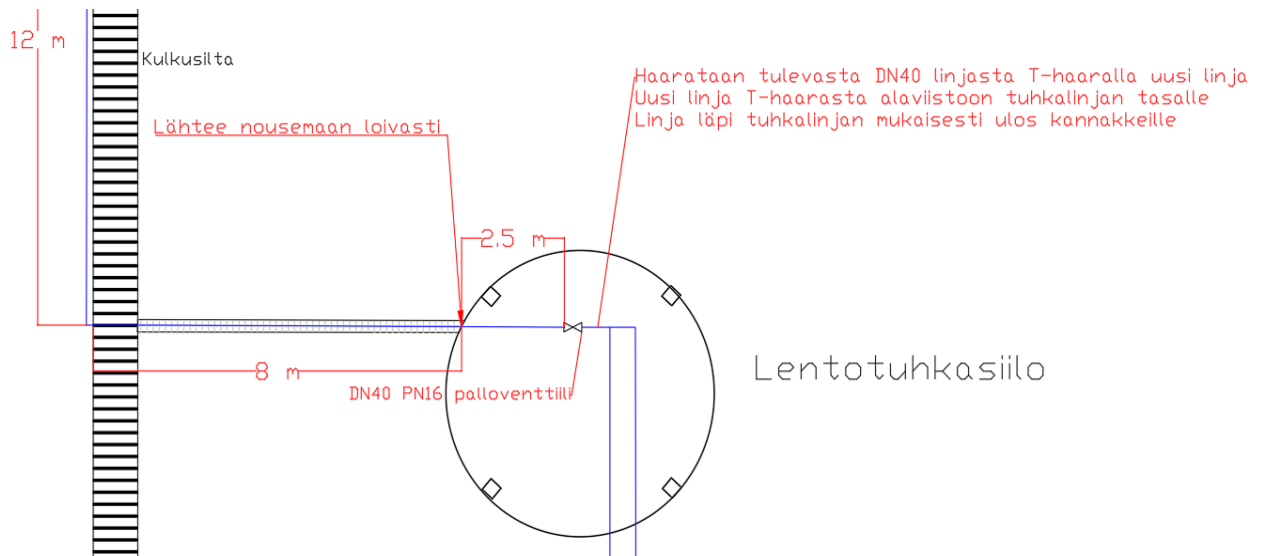
Voimalaitosalueella sijaitsevassa vara- ja huippuvoimalaitoksena toimivassa öljykattilarakennuksessa on valmiina putkikoon DN25 paineilmalinja, joka liitetään samaan verkkoon päärakennuksen paineilman kanssa. Paineilmalinjan pää on jätetty rakennuksen 2. kerroksen huoltotason alle lähelle ulko-ovea. Päärakennuksen paineilmaverkkoa laajennetaan 1NP:n tuhkasiilon kohdalta, jossa tuhkasiilolle menevään paineilmalinjaan tehdään haaroitus ja linja vedetään kannakkeiden päällä 5NP:tä kohti. Linja on kooltaan DN40, ja sisäänvedon jälkeen linja pienennetään supisteella 5NP:n linjan DN25-kokoon. (Kuva 22.)



KUVA 22. 5NP:n liittäminen paineilmaverkkoon

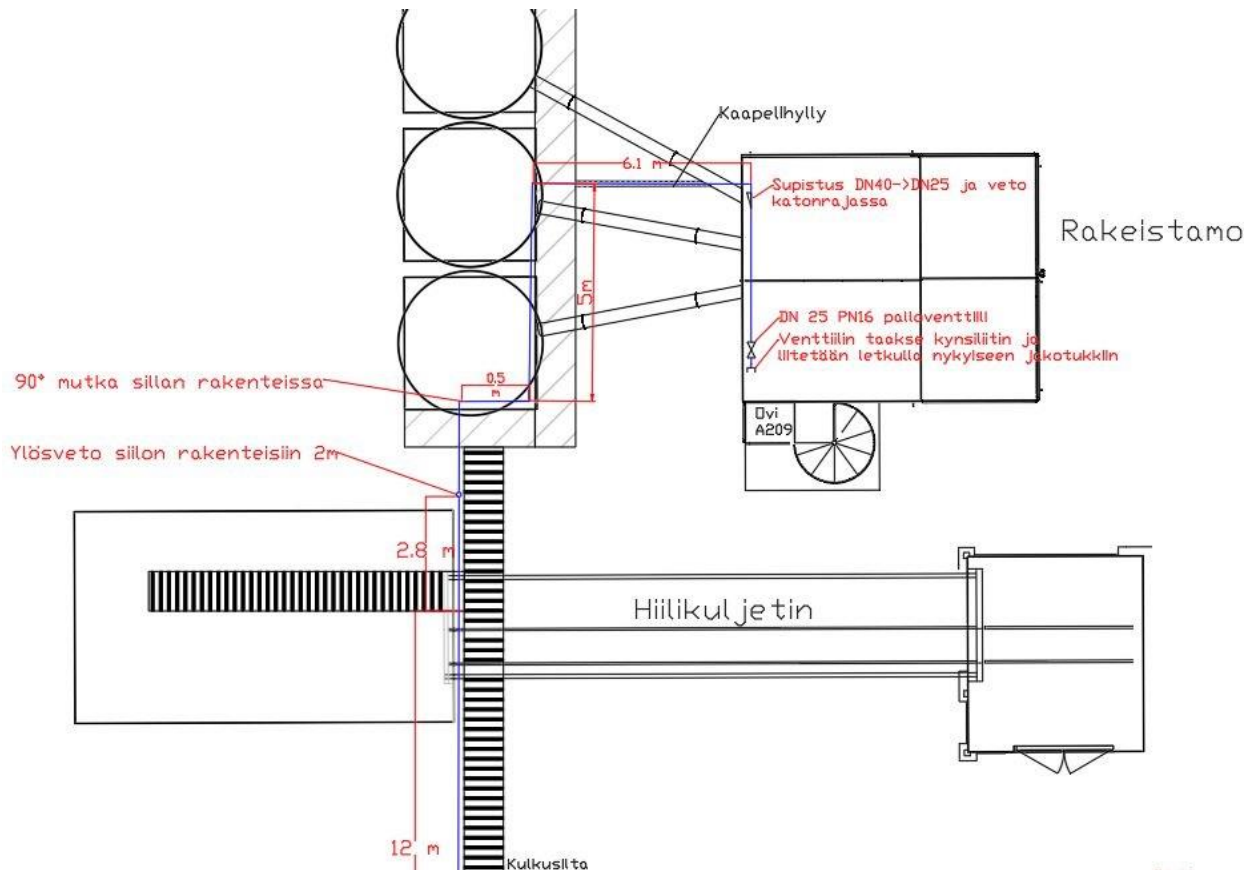
5.6.4 Rakeistamo

Päärakennuksen takana sijaitsevalla rakeistamolla tuotetaan tuhkaa 2NP:n lentotuhkasta metsälannoitteeksi ja maanrakennukseen täyttöaineeksi. Aiemmin paineilma tuotettiin paikallisesti Atlas Copcon LE-10 -mäntäkompressorilla. Rakeistamo liitetään paineilmaverkkoon jatkamalla 2NP:n tuhkasiilolle tulevaa paineilmalinjaa rakeistamolle saakka. Paineilma vedetään tuhkasiilosta ulos tuhkalinjan mukaisesti. Putkikokona alussa käytetään tuhkasiilolle tulevaa DN40:tä. (Kuva 23.)



KUVA 23. Rakeistamon laajennuksen alku

Ulosvedon jälkeen paineilmalinja vedetään ulkona olevien kannakkeiden päällä kulkusillan ali ja kohti rakeistamoa. Linja alittaa toisen kulkusillan, jonka jälkeen linja nostetaan rakeistamon tuhkasiilojen rakenteisiin. Rakenteita pitkin se etenee kohti rakeistamon sisälle menevää kaapelihyllyä, jonka päällä paineilmalinja vedetään sisään. Sisällä linja vedetään katonrajassa kohti ulko-ovea A209, jonka edessä nykyinen kompressori ja paineilman jakotukki sijaitsee. Paineilmalinjan pää varustetaan DN25 PN16-palloventtiilillä sekä kynsiliittimellä. (Kuva 24.)

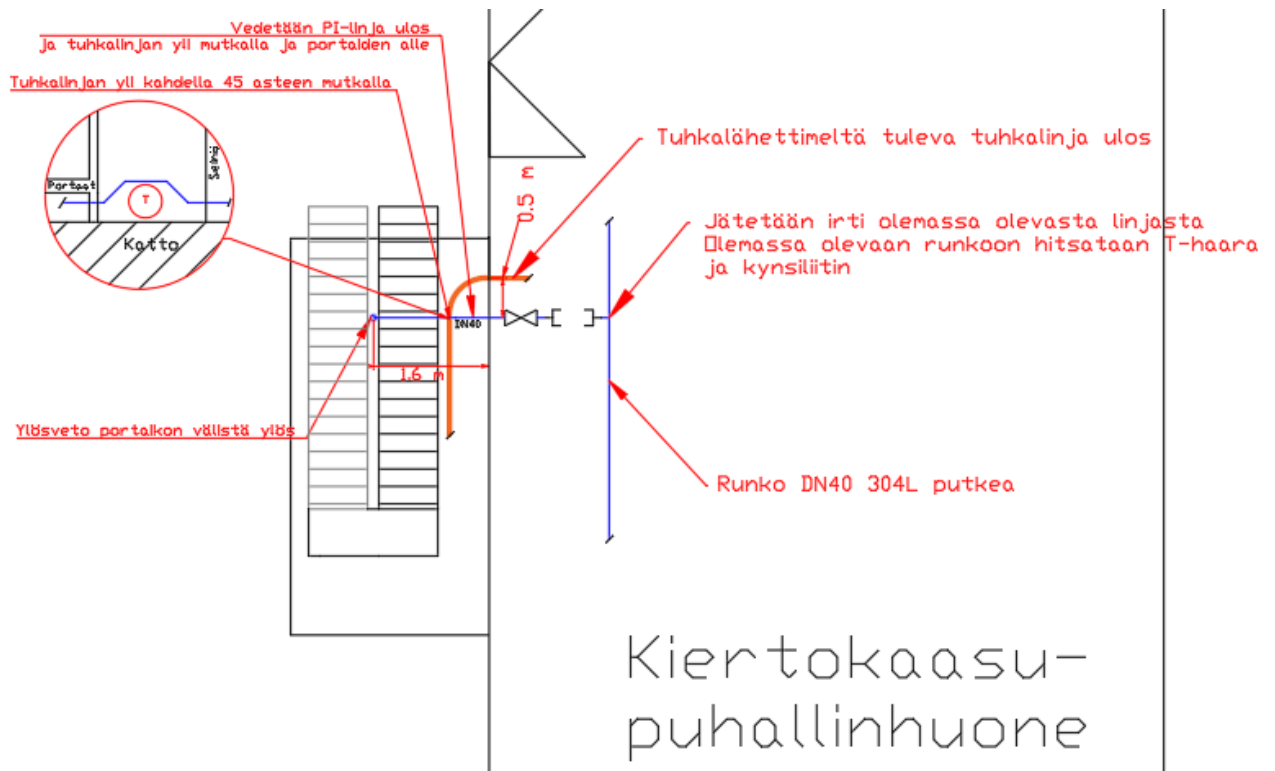


KUVA 24. Rakeistamon laajennuksen loppuosa

5.6.5 Sähkösuodatin

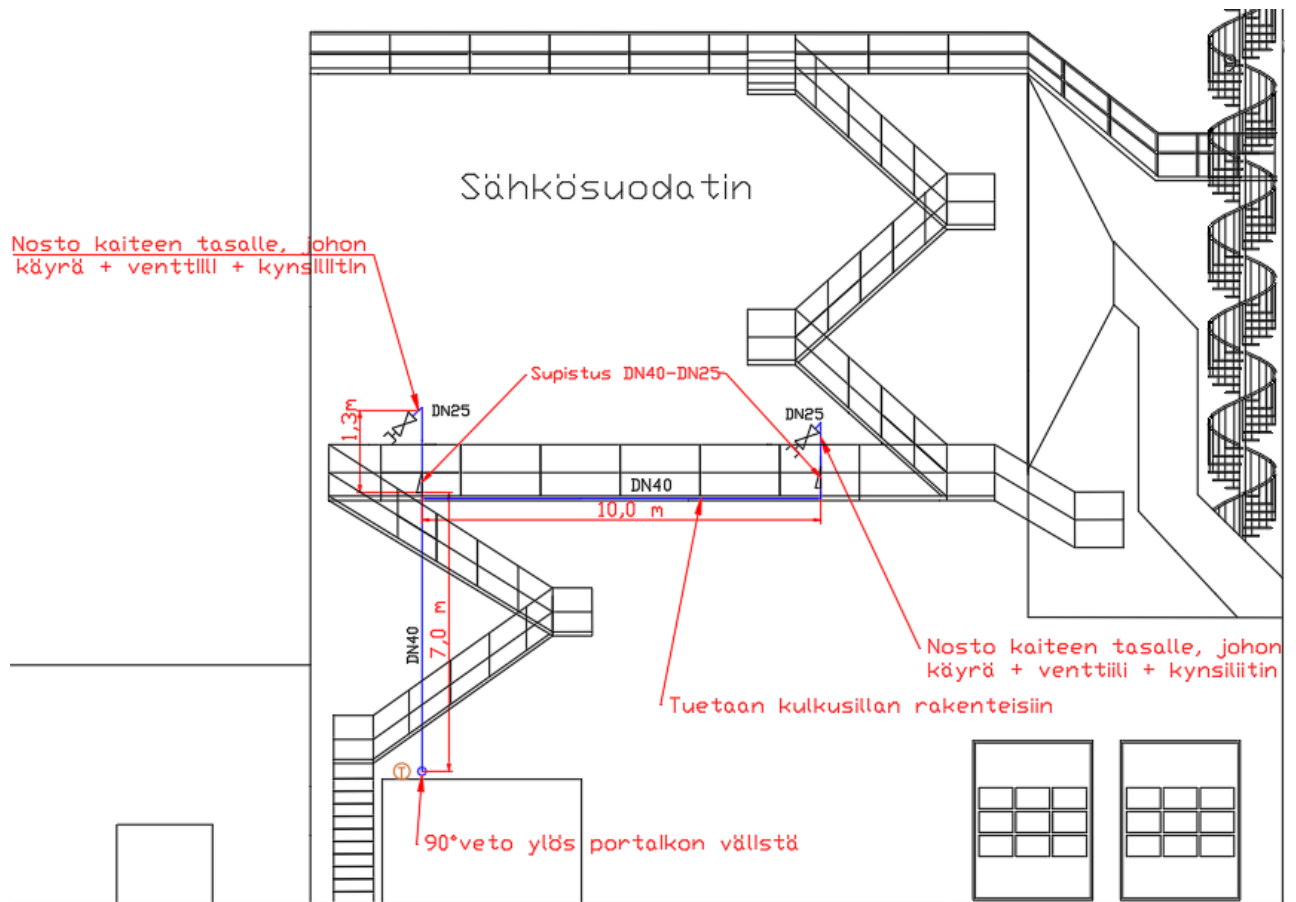
Sähkösuodattimeen kylkeen ulos vedetään paineilmalinja, jotta sähkösuodattimen tärinämoottoreita voitaisiin huoltaa helpommin. Aiemmin paineilma saatiin suodattimelle pitkällä letkulla 2NP:n linjasta. Tämä aiheutti kulkusiltojen ahtautumista, kun paksu letku vedettiin sitä pitkin. Tämä kyseinen laajennus on käytössä vain huoltotöiden aikana, joten se jätetään fyysisesti erilleen runkolinjasta. Paineilma laajennukseen saadaan sähkösuodattimen alakerrassa kiertokaasupuhallinhuoneessa olevasta runkolinjasta.

Runkolinja on putkikooltaan DN40, ja laajennus aloitetaan saman putkikoon omaavalla T-haaralla, jonka perään asennetaan DN40 PN16-sulkuventtiili ja kynsiliitin. Ulosvedon jälkeen paineilmalinja vedetään tuhkalinjan yli ja portaikon väliin, josta paineilmalinja saadaan vedettyä ylös. (Kuva 25.)



KUVA 25. Linja sähkösuodattimen kylkeen ylhäältä

Portaiden välistä paineilmalinja vedetään ylös noin 10 m:n korkeuteen kulkusillalle, jolla sähkömoottorit sijaitsevat. Kulkusillalle rakennetaan kaksi paineilmalientäntä sekä jätetään linjan päähän varaus mahdollisille lisälaajennuksille tulevaisuudessa. Tämän takia laajennuksen putkikoko jätetään reilun kokoiseksi. (Kuva 26.)



KUVA 26. Sähkösuodatin sivusta

6 PAINEHÄVIÖN LASKENTA

Paineilmaverkon painehäviön kompressorin ja käyttökohteen välillä tulisi olla alle 0,1 bar. Tätä suuremmat painehäviöt aiheuttavat tarpeetonta kuormaa kompressoreille. Lisäksi pitkällä aikavälillä on taloudellisempaa investoida kerralla riittävän suureen putkikokoon, kuin maksaa suuren painehäviön aiheuttamaa sähköenergian kulutusta. (12.)

Painehäviön laskentaan käytettiin kaavaa 2 (8, s. 90).

$$\Delta p = 1,6 * 10^{12} * q_v^{1,85} * \frac{l}{d^5 * p}$$

KAAVA 2

Δp = painehäviö (kPa)

q_v = tilavuusvirta (m³/s)

d = putken sisähalkaisija (mm)

l = putkijohdon pituus (m)

p = absoluuttinen paine verkossa (kPa)

Painehäviön laskennassa käytettiin myös kaavaa 3, jonka avulla voitiin vertailla tuloksia ja niiden mielekkyyttä.

$$\Delta p = \frac{f L q_v^{1,85}}{d^5 p_m}$$

KAAVA 3

Δp = painehäviö (bar)

f = putken kitkakerroin

l = putkijohdon pituus (m)

q_v = tilavuusvirta (l/s)

d = putken sisähalkaisija (mm)

p = absoluuttinen paine verkossa (bar)

Laajennuksen painehäviön laskentaan eivät riitä pelkästään putkien pituudet ja sisähalkaisijat, vaan jokainen putkivaruste, kuten käyrä ja sulkulaite, lisää painehäviötä. Putkivarusteiden aiheuttama painehäviön lisäys muutetaan suoran putken ekvivalenttipituudeksi seuraavan taulukon mukaisesti. (Taulukko 2.)

TAULUKKO 2. Putkivarusteiden ekvivalenttipituudet (5. s.65)

Putkenosa	Vastaava putkenpituus metreissä			
	Sisähalkaisija mm (d)			
	20	25	40	50
Palloventtiili auki	0,3	0,3	0,5	0,6
Putkikäyrä R=2d	0,3	0,3	0,5	0,6
Putkikäyrä R=d	0,3	0,4	0,6	0,8
T-haara läpivirtaus	0,2	0,3	0,4	0,5
T-haara sivuvirtaus	1,2	1,5	2,4	3,0
Supistus	0,4	0,5	0,7	1,0
T-jakoputki	1,2	1,5	2,4	3,0
Jakoputken liitos joutsenkaulalla	2,0	2,5	4,0	5,0
Putkikäyrä 45°	0,1	0,2	0,2	0,3

Suunnitelman putkikoot on ilmoitettu DN-mittoina, jotka ovat nimellisiä putken ulkohalkaisijoita. Taulukossa 3 on esiteltynä DN-kokojen mittoja. DN-koot vaihtelevat eri valmistajien ja materiaalien välillä, sillä seinämävahvuus vaihtelee. Taulukon 3 arvot on saatu Onninen Oy:n luettelosta. (13.)

TAULUKKO 3. DN-kokojen mittoja (13.)

Putkikoko DN	mitat [mm]	Ø [mm]
20	26,7*1,6	23,5
25	33,7*1,6	30,5
40	48,3*1,6	45,1
50	60,3*1,6	57,1

6.1 Runkolaajennuksen painehäviöt

Painehäviö lasketaan osissa eri laajennuksen alueille. Osissa laskemisen hyötyä on eri putkikokojen vertailu painehäviön laskennassa sekä mitoitusvirtaaman arviointi eri rungon osissa. Painehäviö lasketaan laajennuksen loppupäästä alkaen.

6.1.1 Näytteenottohalli

Painehäviön laskenta aloitetaan uuden näytteenottoaseman ja polttoaineen vastaanottoaseman välisestä osuudesta. Painehäviön laskemiseksi tehtiin luettelo putkista ja putkivarusteista, jotta saataisiin selville ekvivalentti putken pituus. Ekvivalentti putken pituus saadaan summaamalla suorien putkien metrimäärä ja putkivarusteiden ekvivalenttipituudet metreissä. Putkia ja putkivarusteita laajennuksen loppupään laajennuksessa tarvitaan taulukon 4 mukaisesti.

TAULUKKO 4. Vastaanottoaseman ja näytteenoton välinen putkivarusteluettelo

Putkivarusteet näytteenotto	KPL	DN	Ekvivalentti-pituus [m]
Palloventtiilejä	2	40	1
90° R=d	7	40	4,2
45° R=d	2	40	0,4
Summa			5,6

Suorat putket näytteenotto	
DN 40	65,3 m

Ekvivalentti putken pituus	DN 40	70,9 m
----------------------------	-------	--------

Putkien ja putkivarusteiden lisäksi tulee painehäviön laskemiseksi tietää paineilma-verkon normaalipaine ja mitoitusvirtaama sekä kaavaa 3 varten teräsputken kitkakerroin.

Suosiolan paineilma-verkon normaalipaine on noin 7 baaria ylipainetta eli 8 bar absoluuttipaineena. Absoluuttipaineen nollakohta on täydellinen tyhjiö, kun taas normaali ilmanpaine on noin 1 bar.

Mitoitusvirtaaman arviointi on haastavaa, sillä laajennuksen paineilman käyttö on satunnaista ja vaihtelevaa tarpeeltaan eri kohdissa laajennusta. Mitoitusvirtaama arvioitiin korkeimman käytön mukaan eli tilanteessa, jossa kaikissa liitännöissä olisi kuormaa. Kuormaksi jokaiseen työkalupisteeseen valittiin keskikokoisen mutterivääntimen tarvitsema ilmamäärä, joka on noin 8 l/s. Lisäksi näytteenotto-

hallissa paineilmaa käyttävä näytteenottorobotti tarvitsee 12,5 l/s paineilmaa vähintään 5 baarin ylipaineessa. Näin vastaanottoaseman ja näytteenottohallin välisen paineilmalinjan maksimivirtaamaksi muodostuu 20,5 l/s.

Kaavaa 3 varten teräsputken kitkakerroin on määritetty $f=500$. Kitkakerroin on dimensioton luku (7, s. 38).

Näiden tietojen avulla voidaan laskea kyseisen välin laajennuksen painehäviö. Sijoitetaan arvot kaavaan 2.

$$\Delta p = 1,6 * 10^{12} * \left(\frac{20,5 \text{ l/s}}{1000 \text{ l/m}^3} \right)^{1,85} * \frac{70,9 \text{ m}}{45,1 \text{ mm}^5 * 800 \text{ kPa}} = 0,5722 \text{ kPa} \\ = 0,0057 \text{ bar}$$

Lasketaan vielä vertailun vuoksi kaavalla 3 sama laajennuksen osa.

$$\Delta p = \frac{500 * 70,9 \text{ m} * 20,5 \text{ l/s}^{1,85}}{45,1 \text{ mm}^5 * 8 \text{ bar}} = 0,0063 \text{ bar}$$

Kaavojen 2 ja 3 painehäviön tulokset ovat hyvin lähellä toisiaan, joten tulosta voidaan pitää mielekkäänä. Laskentaa jatketaan tällä tavoin rungon eri osille. Laskennan edetessä rungon läpi vaadittava mitoitusvirtaama kasvaa jokaisen laskentavälin paineilmatarpeen verran.

6.1.2 Polttoaineiden vastaanottoasema

Painehäviön laskentaa jatketaan vastaanottoaseman osalta. Vastaanottoaseman putket ja putkivarusteet ovat esiteltyinä taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Vastaanottoaseman putkivarusteet

Putkivarusteet vastaanotto	KPL	DN	Ekvivalentti-pituus [m]
90° R=d	9	40	5,4
T-haara sivuvirtaus DN50-DN20	2	25	2,4
Summa			7,8
Suorat putket vastaanotto			
DN 40	34,7	m	
Ekvivalentti putken pituus	DN 40	42,5	m

Vastaanotossa on kaksi paineilmaliitintä, joten näytteenottoaseman paineilmatarpeeseen lisätään 16 l/s. Mitoitusvirtaamaksi vastaanotossa muodostuu näin 36,5 l/s. Vastaanottoaseman putkien ja putkivarusteiden aiheuttama painehäviön lisäys laajennuksessa on kaavalla 2 laskettuna 0,01 baaria ja kaavalla 3 laskettuna 0,011 baaria.

6.1.3 Kuljetintunneli seulomoon

Vastaanottoaseman ja seulomon välillä paineilmalinja kulkee maan alla kuljetintunnelissa. Tämän laajennusosan putket ja putkivarusteet on esiteltynä taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Kuljetintunnelin putkivarusteluettelo

Putkivarusteet Seula	KPL	DN	Ekvivalentti-pituus [m]
90° R=d	7	40	4,2
T-haara DN40-DN32	1	40	0,7
T-haara DN40-DN20	1	40	0,5
Supistus DN50-DN40	1	50	1
Summa DN 40			5,4
DN 50			1
Suorat putket seulomo - vastaanotto			
DN 40	17,3	m	
DN 50	56	m	

Ekvivalentti putken pituus	DN 40	22,7	m
	DN 50	57	

Tunnelin alapäässä on yksi paineilmaliitäntä, joten mitoitusvirtaamaksi tällä välillä muodostuu 44,5 l/s. Tunnelissa putkikoko kasvatetaan DN40:stä DN50:een. Painehäviön lisäys laajennuksen painehäviöön tällä välillä on kaavalla 2 laskettuna 0,022 baaria ja kaavalla 3 laskettuna 0,024 baaria.

6.1.4 Seulomolta siilojen katolle

Seulomon tunnelista laajennus vedetään siilojen katolle polttoainekuljettimen huoltoportaiden alla. Tämän laajennusvälin putket ja putkivarusteet ovat esillä taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Seulomon ja siilojen katon välinen putkivarusteluettelo.

Putkivarusteet seulomon tunneli - siilojen katto	KPL	DN	Ekvivalentti-pituus [m]
T-haara läpivirtaus	1	50	0,5
Palloventtiilejä	1	50	0,6
Palloventtiilejä	1	32	0,5
90° R=d	6	50	4,8
45° R=d	2	50	0,6
Supistus DN50-DN40	1	50	1
Supistus DN50-DN32	1	50	0,7
Summa		DN50	8,2
		DN32	0,5

Suorat putket seulomon tunneli - siilojen katto	
DN 50	52 m

Ekvivalentti putken pituus	DN 50	60,2	m
----------------------------	-------	------	---

Siilojen katolla on yksi paineilmaliitäntä, joten mitoitusvirtaama on tällöin 52,5 l/s. Painehäviön lisäys laajennuksen painehäviöön tällä välillä on kaavalla 2 laskettuna 0,085 baaria ja kaavalla 3 laskettuna 0,094 baaria.

6.1.5 Siilojen katolta voimalaitoksen vesikatolle

Siilojen katon ja voimalaitoksen vesikaton välinen paineilmalinja kulkee pääasiassa kuljettimien runkoihin tukeutuen ulkoilmassa. Tästä rungon osasta haarautuu kaksi isompaa haaraa kummankin polttoainesiilon alle. Siiloille menevien haarojen lisäksi rungosta haaroitetaan yksi paineilmalitöntä ulos kolakuljettimen sähkömoottorin kohdalle, josta voidaan tarvittaessa toimittaa paineilmaa huoltotasoille. Laajennusvälin putket ja putkivarusteet ovat esillä taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Siilojen katon ja vesikaton välinen putkivarusteluettelo.

Putkivarusteet siilojen katto - vesikatto	KPL	DN	Ekvivalentti-pituus [m]
T-putki läpivirtaus	4	50	2
Palloventtiilejä	4	50	2,4
45° käyrä	2	50	0,6
90° käyrä	8	50	6,4
Summa DN50			11,4
Suorat putket siilojen katto - vesikatto			
DN 50	62,5	m	
Ekvivalentti putken pituus			
DN50	73,9	m	

Tämän laajennusvälin mitoitusvirtaama vesikatolla on 68,5 l/s, joka on laajennuksen suurin. Tämän putkivälin painehäviö on 0,019 baaria kaavalla 2 laskettuna ja 0,017 baaria kaavalla 3 laskettuna.

6.1.6 Vesikatolta 1NP:lle ja 2NP:lle

Laajennuksen runkolinjan silmukointi 1NP:ltä vähentää runkolinjan alun painehäviötä sekä tasaa paineilman virtaamaa rungon alussa. Silmukoinnin putkivarusteet ovat esillä taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Vesikaton ja 1NP:n välinen putkivarusteluettelo

Putkivarusteet:	KPL	DN	Ekvivalentti-pituus [m]
T-haara virtaus sivuun	1	50	3
Palloventtiili	2	50	1,2
Putkikäyrä 90° R=d	6	50	4,8
Summa			9

Suorat putket 1NP-vesikatto	
DN 50	16,4 m

Ekvivalentti putken pituus	DN 50	25,4 m
----------------------------	-------	--------

1NP:n ja vesikaton välisen runkoputken mitoitusvirtaamaksi muodostuu 50,25 l/s, kun puolet laajennuksen virtaamasta silmukoinnin kohdalla tulee tämän linjan kautta. Painehäviöksi tälle välille saadaan 0,0036 baaria kaavalla 2 ja 0,0033 baaria kaavalla 3 laskettaessa.

Lopuksi lasketaan painehäviö vesikatoilta 2NP:lle. Tällä välillä rungosta haaroitetaan paineilmalinjat päiväsiilon konehuoneeseen sekä ylös 7. kerroksen huolto-atasolle. Putket ja putkivarusteet silmukoinnista 2NP:n paineilmaverkkoon ovat esillä taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Silmukoinnin ja 2NP:n välinen putkivarusteluettelo

Putkivarusteet:	KPL	DN	Ekvivalentti-pituus [m]
Palloventtiilejä	4	50	2,4
90° R=d	6	50	4,8
45° käyrä	3	50	0,9
T-putki virtaus sivuun	4	50	12
Summa			20,1

Suorat putket 2NP-vesikatto	
DN 50	46,1 m

Ekvivalentti putken pituus	DN 50	66,2 m
----------------------------	-------	--------

Tämän laajennusvälin mitoitusvirtaama on 50,25 l/s ja painehäviöt ovat 0,0096 baaria kaavalla 2 ja 0,0086 baaria kaavalla 3 laskettuna.

Kokonaispainehäviöksi laajennuksen runkolinjassa muodostuu 0,084 baaria kaavalla 2 ja 0,081 baaria kaavalla 3.

6.2 Runkolinjan haarat ja muut laajennukset

Runkolinjan haarojen ja muiden laajennusten putket ja putkivarusteet eriteltiin runkolinjan putkitarvikkeista. Tämä tehtiin siitä syystä, että suunnitelmasta voidaan näin tarvittaessa toteuttaa vain runkolinja ja lisätä myöhemmin muut osat laajennuksen paineilmaverkon piiriin.

Runkolinjasta haarautuvien putkien ja putkivarusteiden yhteenlasketut määrät ovat esillä taulukossa 11.

TAULUKKO 11. Runkolinjasta haarautuvien linjojen putket ja putkivarusteet.

Putkivarusteet: Runkolinjasta haarautuvat linjat	KPL	DN-koko
Palloventtiili PN16	11	25
Palloventtiili PN16	1	50
90° R=d	10	25
T-putki virtaus sivuun	4	25
T-putki virtaus sivuun	1	50
Joutsenkaula	2	25
Supistus DN50-DN25	3	25

Suorat putket	
DN25	63,6 m

Haaroille ei ole tarpeellista laskea haarakohtaisia painehäviöitä, koska haarojen pituudet ovat verrattain lyhyitä ja paineilman mitoitusvirtaamat pieniä.

6.2.1 Rakeistamo

Rakeistamolle paineilma vedetään tuhkasiilolle tulevasta putkikoon DN40-linjasta. Rakeistamon putket ja putkivarusteet on lueteltu taulukossa 12.

TAULUKKO 12. Rakeistamon putket

Putkivarusteet Rakeistamo:	KPL	DN	Ekvivalenttipituus [m]
T-putki virtaus sivuun	1	40	2,4
Palloventtiilejä	2	40	1
90° R=d	9	40	5,4
45° käyrä	2	40	0,4
Summa			9,2

Suorat putket Rakeistamo	
DN 40	46,6 m

Ekvivalentti putken pituus	55,8 m
----------------------------	--------

Mitoitusvirtaamana rakeistamolle pidetään 16 l/s, joka on lähellä nykyisen paikallisen mäntäkompressorin tuottolukemia. Painehäviöksi rakeistamolle vedettävän uuden linjan osalta muodostuu 0,0032 baaria kaavalla 2 ja 0,0028 baaria kaavalla 3 laskettuna.

6.2.2 5NP

Öljykattila 5NP:lle paineilma vedetään 1NP:n tuhkasiilon alle tulevasta paineilma-linjasta. Linja on putkikooltaan DN40, ja se vedetään 5NP:lle kulkuväylän yli putkitason päällä. Laajennus yhdistetään 5NP:llä jo olevaan runkolinjaan rakennuksen sisällä. 5NP:n laajennuksen putket ja putkivarusteet ovat esillä taulukossa 13.

TAULUKKO 13. 5NP:n laajennuksen putket ja putkivarusteet

Putkivarusteet 5NP:	KPL	DN	Ekvivalentti-pituus [m]
T-haara virtaus sivuun	1	40	2,4
90° R=d	5	40	2,5
90° R=d	3	25	1,2
Palloventtiilejä	1	40	0,5
Supistus DN40-DN25	1	40	0,7
Summa			7,3

Suorat putket 5NP	
DN 40	27 m
DN 25	2,5 m

Ekvivalentti putken pituus	
DN 40	33,1 m
DN 25	3,7 m

Mitoitusvirtaamaksi 5NP:lle on määritetty 30 l/s, joka on nykyisen kompressorin tuottama paineilman määrä. Painehäviö 5NP:n laajennukselle on kaavan 2 mukaan 0,0107 baaria ja kaavan 3 mukaan 0,0096 baaria.

6.2.3 Sähkösuodin

Sähkösuodattimen ulkona olevalle huoltotasolle paineilma vedetään saman rakennuksen sisältä alakerrasta. Rakennuksessa oleva linja on putkikooltaan DN50, ja sähkösuodattimelle lähtevä linja on putkikooltaan DN40. Ulkona linja vedetään ylös huoltotason tasalle ja sinne haaroitetaan kaksi paineilmaliitäntää. Putkikoko jätetään reiluksi mahdollisia tulevia laajennuksia silmällä pitäen. Laajennuksen putket ja putkivarusteet ovat esillä taulukossa 14.

TAULUKKO 14. Sähkösuodattimen laajennuksen putket ja putkivarusteet

Putkivarusteet Sähkösuodin:	KPL	DN	Ekvivalentti-pituus [m]
T-haara virtaus sivuun	2	40	4,8
90° R=d	3	40	1,5
Palloventtiilejä	2	25	0,6
Palloventtiilejä	1	40	0,5
Putkikäyrä 45°	4	40	0,8
Supistus DN40-DN25	2	40	1,4
Summa			9,6

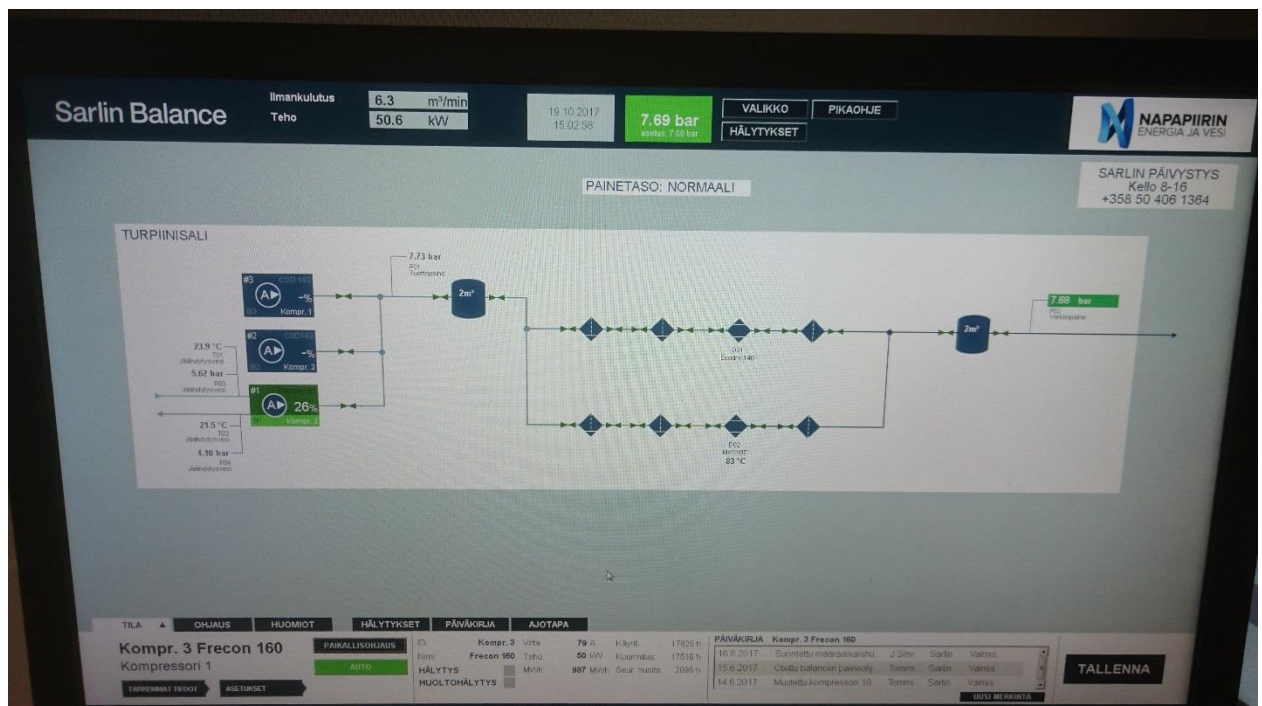
Suorat putket Sähkösuodatin	
DN 40	19,3 m
DN 25	2,6 m

Ekvivalentti putken pituus	
DN 40	28,3 m
DN 25	0,6 m

Mitoitusvirtaama sähkösuodattimelle on 16 l/s, joka vastaa jo aiemmin mainittua kahden keskikokoisen mutterivääntimen tarvitsemaa ilmamäärää 6–10 baarin paineessa. Painehäviö sähkösuodattimen laajennukselle on kaavalla 2 laskettuna 0,0018 baaria ja kaavalla 3 laskettuna 0,0017 baaria. Tällaiset painehäviöt ovat mitättömän pieniä suurissa paineilma verkoissa, varsinkin kun suurehko putki toimii samalla paineilman välisäiliönä.

6.3 Kompressorien kuormitusaste

Kompressorien kuormitusta ja muita tietoja saatiin Sarlin Oy:n toimittamasta Sarlin Balance -ohjelmasta, joka on asennettuna valvomon viereiseen huoneeseen. Tämän ohjelman avulla saadaan selville esimerkiksi nykyinen painetaso, kompressorien kuormitus, sähköenergian käyttö sekä monia muita tietoja. Lisäksi kaikkia näitä tietoja voidaan selata tuntien tarkkuudella historiatiedoista. Kuvassa 27 on esiteltynä Sarlin Balancen vakionäkymä.



KUVA 27. Sarlin Balance -ohjelman vakionäkymä

Tämän ohjelman ja sen historiatietojen avulla voitiin selvittää nykyisen paineilma-
linjaston suurimman paineilmatarpeen määrä sekä puolen vuoden keskiarvot paineilman
tuotannossa. Suurin paineilman tarve sijoittui tarkastelujaksolla kesä-
kuun 29. päivään, jolloin keskimääräinen paineilman tuotto oli noin 1000 m³/h.
Nyt voidaan laskea kompressoreiden yhteinen kuormitusaste kaavalla 4.

$$\text{Kuormitusaste} = \frac{\text{Verkon ilmantarve } m^3/h}{\text{Kompressoreiden max.ilmantuotto } m^3/h} \quad \text{KAAVA 4}$$

Sijoitetaan suurimman ilmantarpeen päivän arvot kaavaan 4.

$$\text{Kuormitusaste} = \frac{999,7 \, m^3/h}{1932 \, m^3/h} = 41,04 \, \%$$

Suurimman ilmantarpeen aikana kaikkien kompressoreiden yhteinen kuormitus-
prosentti on ollut noin 41 %. Puolen vuoden keskiarvolla taas keskimääräinen
paineilman tuotto on ollut noin 650 m³/h kompressoreiden kuormitusasteen ol-
lessa noin 27 %.

Näiden tietojen avulla voidaan arvioida uuden laajennuksen aiheuttama kuorman lisäys kompressoreille sekä arvioida tulisiko kompressoreiden kapasiteettia lisätä. Laajennuksen yhteenlaskettu ilmantarpeen lisäys, mikäli kaikki liitännäispisteet olisivat käytössä, on noin 333 m³/h.

Näillä tiedoilla voidaan nyt laskea kompressoreiden kuormitusaste laajennuksen ilmantarpeen lisäyksen jälkeen kaavalla 4.

$$\text{Kuormitusaste} = \frac{1332,7 \text{ m}^3/\text{h}}{1932 \text{ m}^3/\text{h}} = 54,71 \%$$

Kuormitusasteeksi muodostuu nyt noin 55 %, joka jää reilusti alle Sarlin Oy:n edustajan 70%:n suosituksen (12).

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella paineilmalinjaan laajennus, jolla saataisiin katettua tärkeimmät voimalaitosalueen apurakennuksista. Suunnitelma kattaa kaikki sovitut rakennukset sekä lisähaarat, jotka alussa työn tilaajan kanssa sovittiin. Tämän opinnäytetyön aikana opin tärkeitä suunnittelu- ja yhteistyötaitoja sekä projektinhallintaa.

Paineilmalinjan laajennuksen suunnittelu oli haastavaa, sillä useissa tapauksissa rakennuksista ei ollut totuudenmukaisia rakennekuvia. Lisäksi haasteita ilmeni paineilmatarpeen arvioinnissa. Tässä tapauksessa suunnittelua helpotti kompressoreiden korkea tuottokyky sekä paineilman korkea laatuluokitus, joka helpotti putkiston suunnittelua. Lisäksi Sarlin Oy:n toimittama Sarlin Balance -näyttöpäätte antoi tarpeellisia tietoja paineilmaverkosta reaaliajassa sekä mahdollisti historia-tietojen selaamisen.

Työ esiteltiin työn tilaajalle Rovaniemellä 16.3.2018 ja lopulliset suunnittelukuvat sekä painehäviölaskuri palautettiin 23.3.2018. Työn tilaaja oli tyytyväinen suunnitelmaan.

Työ on mielestäni onnistunut, vaikkakin olisin halunnut tehdä paremmin osan suunnittelukuvista, joista puuttuivat oikeat rakennekuvat. Mikäli suunnitelmaa halutaan jatkokehittää, tulisi suunnittelijan saada käyttöönsä totuudenmukaiset rakennekuvat.

LÄHTEET

1. Yrityksemme – Neve. Napapiirin Energia ja Vesi Oy. Saatavissa: <http://www.neve.fi/Napapiirin-Energia-ja-Vesi/Yrityksemme/NEVE-Oy>. Hakupäivä 2.1.2018.
2. Vuosikertomus 2015 – Neve. Napapiirin Energia ja Vesi Oy. Saatavissa: <http://www.neve.fi/Napapiirin-Energia-ja-Vesi/Yrityksemme/NEVE-Oy/Vuosi-kertomukset>. Hakupäivä 4.1.2018.
3. Tuotanto – Neve. Napapiirin Energia ja Vesi Oy. Saatavissa: <http://www.neve.fi/Napapiirin-Energia-ja-Vesi/Neuvoa-ja-tietoa/Energia-tieto/Tuotanto>. Hakupäivä 2.1.2018.
4. Mustikkamaan voimalaitos. Napapiirin Energia ja Vesi Oy. Saatavissa: <http://www.mustikkamaanvoimalaitos.fi/Tiedotteita>. Hakupäivä 7.1.2018.
5. Fonselius, Jaakko – Hautanen, Juha – Mutikainen, Tuomo – Pekkola, Kari – Salmijärvi, Olli – Simpura, Antti 2000. Koneautomaatio: Pneumatiikka. Helsinki: Oy Edita Ab.
6. PATE - Paineilmaa tehokkaasti pdf. Motiva. Saatavissa: www.motiva.fi/files/2259/PATE-esite.pdf. Hakupäivä 14.2.2018.
7. Ellman, Asko – Hautanen, Juha – Järvinen, Kari – Simpura, Antti 2002. Pneumatiikka. Helsinki: Edita Prima Oy.
8. Keinänen, Toimi – Kärkkäinen, Pentti 2009. Automaatiojärjestelmien hydrauliiikka ja pneumatiikka. Helsinki. WSOYPro Oy.
9. Paineilman laatustandardi. Sarlin Oy Ab. Saatavissa: http://www.sarlin.com/sarlin_products/ISO-85731--paineilman-laatustandardi/yhah-te4/8d099e6f-50f6-47f1-a00a-0d7af6ed010f. Hakupäivä 30.1.2018.

10. Sarlin 360°-asiakaslehti. Sarlin Oy Ab. Saatavissa: <http://www.e-julkaisu.fi/sarlin/asiakaslehti/2-2016/?goto=22>.
Hakupäivä 14.2.2018.
11. Hertz Frecon 160P – Technical Information pdf. Saatavissa: <http://www.hertz-kompressoren.com/product/frecon-plus-series>.
Hakupäivä 12.2.2018.
12. Järventaus, Jukka 2018. Avainasiakaspäällikkö, Sarlin Oy. Puhelinkeskustelut marraskuun 2017 – helmikuun 2018 aikana.
13. HST/RST-putkistohinnasto – Onninen Oy. Saatavissa: <http://www.onninen.com/finland/Palvelut/Hinnastot/Pages/HSTRST-hinnasto.aspx>. Hakupäivä 4.4.2018.